



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**

**ENSILADO DE CENTENO (*Secale cereale*) Y TRITICALE (X
Triticosecale *Winmack*), UNA ALTERNATIVA FORRAJERA PARA
LA ALIMENTACIÓN DE VACAS EN SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN DE LECHE EN PEQUEÑA ESCALA**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA**

P R E S E N T A

ZEIDA MEDINA GÓMEZ

ASESORES:

Dr. Carlos Manuel Arriaga Jordán

Dra. Aurora Sainz Ramírez

Dra. María Danaee Celis Álvarez

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México.

Febrero de 2026

CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	5
ÍNDICE DE CUADROS	6
1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	9
2.1 Panorama de la producción de leche bovina en México.....	9
2.2 Sistemas de producción de leche en México	9
2.3 Sistemas de producción de leche en pequeña escala	11
2.4 Estrategias de alimentación	11
2.5 Cereales Forrajeros	13
2.5.1 Triticale (<i>X Triticosecale</i> <i>Winmack</i>).....	13
2.5.2 Centeno (<i>Scale cereale</i>)	15
2.6 Cultivos multiespecie	16
3. JUSTIFICACIÓN	17
4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	18
5. HIPÓTESIS	19
6. OBJETIVOS	20
6.1 Objetivo general.....	20
6.2 Objetivos específicos	20
7. LÍMITE DE ESPACIO.....	21
7.1 Desarrollo experimental y área de estudio	21
8. LÍMITE DE TIEMPO	23
9. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
9.1 Establecimiento de cultivos y manejo de ensilado	24

9.2 Animales y diseño experimental	25
9.3.2 Condición corporal y peso vivo	27
9.3.3 Consumo de alimento.....	28
9.4 Composición química de los alimentos ofrecidos	29
9.5 Análisis estadístico	30
10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
10.1 Composición química de los alimentos ofrecidos	31
10.2 Variables de desempeño animal	33
10.2.1 Rendimiento y composición química de la leche	33
10.3 Consumo de alimento.....	35
12. CONCLUSIONES	38
13. LITERATURA CITADA.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicacion del municipio de Aculco en el Estado de México.....	22
Figura 2. Ubicación del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) en el Estado de México.....	22
Figura 3. Escala de evaluación de condición corporal en vacas lecheras.....	28

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos experimentales.....	26
Cuadro 2. Diseño cuadro latino 3x3, con asignación aleatoria de tratamientos y vaca.	27
Cuadro 3. Composición química de los alimentos usados en los tratamientos y estimación de la energía metabolizable	31
Cuadro 4. Peso vivo, condición corporal de las vacas, rendimiento y composición química de la leche.....	34
Cuadro 5. Consumo de alimentos ofrecidos y consumo total por tratamiento (kg MS/vaca/día)	36

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción de leche a pequeña escala (SPLPE) desempeñan un papel crucial en los Valles Altos del centro de México. A pesar de su relevancia, la producción de alimentos para ganado bovino ha experimentado impactos negativos debido al cambio climático, con variaciones en las temperaturas que incluyen veranos extremadamente calurosos e inviernos muy fríos, además de fenómenos como lluvias tardías o la reducción de precipitaciones, lo que representa una preocupación creciente para el sector agropecuario. Estas alteraciones han motivado la búsqueda de alternativas en las estrategias de alimentación, como son forrajes mejor adaptados a las nuevas condiciones, por lo que se requiere investigar cultivos que ofrezcan un alto valor nutricional y resistan mejor las condiciones de menor precipitación pluvial o periodos de sequía más prolongados.

En este contexto, el ensilado de forrajes como método de conservación garantiza una disponibilidad continua de forraje de buena calidad durante todo el año, especialmente en periodos críticos como la época seca, y facilitan la intensificación de la producción al mejorar la respuesta productiva del ganado (Mancipe-Muñoz et al., 2021).

Los cereales de grano pequeño, como el centeno, el trigo y el triticale, presentan ciclos de cultivo más cortos que el maíz, lo que los convierte en opciones forrajeras atractivas, especialmente para la producción de ensilado durante la época seca en sistemas de producción de leche a pequeña escala de los Valles Altos del centro de México. Un estudio realizado por Vega García (2021) evaluó estos cereales como alternativas forrajeras, encontrando que su uso es viable debido a sus altos rendimientos de materia seca y contenido adecuado de proteína, lo que sostiene la rentabilidad en vacas lecheras de rendimientos bajos a moderados.

Las alteraciones climáticas, como la prolongación de la temporada de sequía, han afectado negativamente la siembra de cultivos tradicionales en el Estado de México, especialmente el maíz, resultando en menores rendimientos y rentabilidad. En este contexto, cultivos alternativos como el centeno (*Secale cereale*) y el triticale (*X Triticosecale Winmack*) se presentan como opciones viables para la producción de forraje, debido a su adaptabilidad a condiciones climáticas adversas y su alta resistencia a la sequía. Un estudio

realizado por Murillo et al. (2001) evaluó el rendimiento de grano y forraje de líneas de triticale y centeno en Baja California Sur, México, y encontró que el triticale presenta mayor tolerancia a factores adversos como sequía, enfermedades foliares y suelos pobres, lo que lo convierte en una alternativa prometedora para la alimentación del ganado en época de escasez.

Es así como el objetivo de este trabajo fue evaluar la inclusión de un ensilado de centeno y triticale (como cultivo asociado), en comparación al ensilado convencional y de mayor utilización en la región que es el ensilado de maíz, en la alimentación de vacas lecheras de sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) en términos de desempeño productivo.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Panorama de la producción de leche bovina en México

En México la producción de leche se extiende a lo largo de todo el territorio mexicano; la leche de bovino es la más abundante, ocupa el tercer puesto en la industria alimentaria, y representando el 17.22% del valor total nacional. México ocupa el lugar 16 a nivel mundial en producción de leche (BM Editores, 2021), con una producción en 2023 de 13.33 millones de toneladas (SIAP, 2024).

Los principales estados productores de leche en la República Mexicana son, Jalisco (20.1%); Coahuila (11.6%); Durango (11.4%) y Chihuahua (9.6%); estos estados, en conjunto, generan la mitad de la producción nacional. Les siguen Guanajuato, Veracruz, Puebla, Estado de México, Aguascalientes y Chiapas. Destacan particularmente Coahuila y Durango, ubicados en la Región Lagunera, reconocida como la cuenca lechera más importante del país, lo que les permite posicionarse en conjunto como los mayores productores a nivel nacional (SIAP, 2022).

La producción de leche en el país se divide en dos tipos: la ordeña manual y la mecánica. La ordeña manual corresponde a pequeños productores que manejan bajos volúmenes de leche y realizan el ordeño manualmente, destinando su producción principalmente al autoconsumo, a ventas locales directas al consumidor o mediante intermediarios. Por otro lado, la ordeña mecánica implica una producción a gran escala y un nivel de tecnificación más alto (Federación Mexicana de Lechería, 2022).

2.2 Sistemas de producción de leche en México

Según FIRA (2020), en México se identifican cuatro sistemas de producción de leche: sistema especializado, semiespecializado, familiar o a pequeña escala y de doble propósito.

El sistema especializado, utiliza ganado de alta calidad y tecnología avanzada (ordeñadoras mecánicas, tanques enfriadores). Representa el 50% de la producción nacional y se ubica en estados como Durango, Coahuila, Guanajuato, Jalisco, Aguascalientes,

Chihuahua, Estado de México, San Luis Potosí, Hidalgo, Querétaro y Baja California (Robledo-Padilla, 2018; FIRA, 2020).

El sistema semiespecializado, tiene niveles de producción más bajos y tecnología intermedia, con ordeño manual y sin equipo de refrigeración. Aporta el 20% de la producción y se desarrolla en estados como Baja California, Baja California Sur, Colima, Chihuahua, Ciudad de México, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Puebla, Sinaloa, Sonora, Tlaxcala y Zacatecas (Robledo-Padilla, 2018; FIRA, 2020).

El sistema familiar o a pequeña escala, utiliza razas cruzadas de buena calidad y tecnología básica, con ordeño manual y ganado en pastoreo; con una producción destinada al autoconsumo. Representa el 21% de la producción y se concentra en Jalisco, Estado de México, Michoacán, Hidalgo y Sonora, aunque también en menor medida en Aguascalientes, Baja California, Coahuila, Chihuahua, Ciudad de México, Durango y Nuevo León (Robledo-Padilla, 2018; FIRA, 2020).

Finalmente, el sistema de doble propósito produce tanto carne como leche, con ordeño manual y pastoreo. Aporta el 9% de la producción y se desarrolla en estados como Chiapas, Veracruz, Jalisco, Guerrero, Tabasco, Nayarit, San Luis Potosí y Tamaulipas ((Robledo-Padilla, 2018; FIRA, 2020).

Por otro lado, Odermatt et al. (1997) dividieron la producción lechera del país en tres tipos: lechería intensiva, que se encuentra principalmente en el centro-norte del país y está vinculado a grandes empresas lácteas; la lechería tropical, ubicada en las regiones costeras; y la lechería de pequeña escala, predominante en el altiplano, aunque también presente en diversas zonas del país.

A nivel global, los sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) juegan un rol crucial. Según la FAO (2006), se estima que entre el 80% y el 90% de la leche producida en los países en desarrollo proviene de estos sistemas, representando así más del 78 % de las unidades especializadas en la producción de leche en México (Prospero-Bernal et al., 2017).

2.3 Sistemas de producción de leche en pequeña escala

Los sistemas de producción de leche de pequeña escala (SPLPE) se caracterizan por ser unidades familiares dedicadas a la producción de leche de ganado bovino con fines comerciales. Estas unidades dependen principalmente de la mano de obra familiar, disponen de cantidades limitadas de tierra y tienen un tamaño de hato que oscila entre 3 y 35 vacas, incluyendo los reemplazos (Fadul-Pacheco et al., 2013).

En los Valles Altos del centro de México, se ha comprobado que los sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) constituyen una alternativa viable para el desarrollo de áreas rurales. Estos sistemas brindan a las familias productoras una fuente de ingresos estables y una mejora en su calidad de vida, permitiéndoles superar la pobreza rural a través de la producción y comercialización de leche. Este tipo de actividad genera ingresos que, de otro modo, no serían alcanzables mediante otras prácticas agropecuarias, debido a la limitada disponibilidad de tierra en las unidades de producción (Espinoza-Ortega et al., 2007).

El principal componente de los costos de producción dentro de estos sistemas es la alimentación, esto se debe principalmente a la adquisición de concentrados comerciales y forrajes externos a la unidad de producción, lo que puede representar hasta el 70% de los costos de alimentación (Espinoza-Ortega et al., 2007; Prospero-Bernal et al., 2017). Como resultado, la escala económica se convierte en un factor vulnerable en la evaluación de la sostenibilidad de estos sistemas, ubicándolos en un nivel medio de sostenibilidad (Fadul-Pacheco et al., 2013; Prospero-Bernal et al., 2017). Por lo tanto, es necesario desarrollar estrategias de alimentación que hagan viable económicamente la producción de leche a pequeña escala, así como también que se adapten al cambio climático.

2.4 Estrategias de alimentación

Frente al problema de la estacionalidad, que provoca una baja en la producción lechera durante las sequías, es necesario considerar alternativas nutricionales para mantener la productividad del hato. Debido a la menor disponibilidad de forraje en estos periodos de

sequía y heladas, el ganado reduce su consumo de materia seca, lo cual afecta tanto la cantidad de leche producida como su calidad. Esta situación obliga a los productores a destinar una parte considerable de sus ingresos a la compra de concentrados comerciales de alto costo, lo que reduce sus márgenes de ganancia en estas épocas. Por ello, es fundamental suplementar con preparaciones a base de granos y cultivos forrajeros alternativos, lo que permite depender menos de productos comerciales costosos y aumentar la productividad y calidad de la leche, mejorando así la rentabilidad del hato (López-Arboleda, et al., 2012).

Se han descrito dos diferentes estrategias de alimentación de acuerdo con la estación presente del año; la época de lluvias se basa en el uso de praderas y de forrajes frescos, así como bajos niveles de suplementarios. Durante la época de secas o del estiaje se hacen mayor uso de insumos externos tales como pajas y rastrojos, representando una alta dependencia de concentrados comerciales (Martínez-García et al., 2015). De este modo, una estrategia clave consiste en optimizar el uso de los forrajes producidos dentro de las propias unidades de producción, durante todo el año a través de métodos de conservación, como lo es el ensilaje o el henificado (Espinoza-Ortega et al., 2007; Martínez-Fernández et al., 2015).

El ensilado de maíz se ha demostrado como una opción de alta calidad, adecuándose bien a los sistemas de producción de leche de pequeña escala, además de ser un cultivo tradicional en el país. No obstante, debido a las condiciones agroecológicas de los Valles Altos de México, no siempre es factible cosechar el maíz en el momento óptimo para garantizar su calidad para el ensilaje. A esto se suman los efectos del cambio climático, que podrían alterar los patrones de lluvia y reducir las precipitaciones, lo que hace urgente la necesidad de explorar alternativas forrajeras mejor adaptadas. Estas alternativas deberían caracterizarse por tener ciclos agrícolas más cortos, un menor requerimiento hídrico y una mayor resistencia a condiciones climáticas adversas (Vega-García et al., 2020; 2021).

Los forrajes constituyen el elemento más crucial en la dieta de las vacas lecheras, ya que proporcionan nutrientes esenciales y fibra efectiva. Su consumo tiene un impacto significativo en la ingesta de materia seca y nutriente, además de ser fundamentales para el funcionamiento adecuado del rumen en los animales. Los cereales de grano pequeño son promovidos como alternativas forrajeras que pueden sustituir otros cultivos tradicionales, gracias a sus características de ciclos de crecimiento más cortos, mayor adaptación a

regímenes de lluvia de menor precipitación o temporales erráticos; entre los que se encuentran la avena (*Avena sativa* y *Avena strigosa*), cebada (*Hordeum vulgare*), centeno (*Secale cereale*), trigo (*Triticum aestivum*) y triticale (*x Triticosecale*) (INECC, 2007).

2.5 Cereales Forrajeros

Los cereales de grano pequeño para forraje tienen las ventajas de que requieren menos agua ya que son de un ciclo más corto, siendo más resistentes al déficit hídrico. Por lo que son considerados una gran alternativa dentro de las estrategias de alimentación en sistemas de producción de leche a pequeña escala (Vega-García et al., 2021).

Dentro de estos se encuentran los cereales forrajeros de invierno como son el trigo (*Triticum aestivum*), centeno (*Secale cereale*), avena (*Avena sativa* L.) y triticale (*X Triticosecale* Winmack), los cuales tienen la característica de producir alimento en un corto periodo de tiempo teniendo un alto contenido de proteínas e hidratos de carbono solubles y un bajo contenido de fibra (Murillo-Amador, 2001).

2.5.1 Triticale (*X Triticosecale* Winmack)

El triticale es un cultivo derivado de la hibridación entre el trigo y el centeno. Sus características físicas y la composición química del grano son, en términos generales, una mezcla de las propiedades de ambas especies progenitoras, combinando el alto valor energético y proteico del trigo con la rusticidad y calidad del centeno.

Este cultivo se presenta como una alternativa viable para las zonas de temporal, debido a su mayor tolerancia a la sequía, las enfermedades y su resistencia a suelos de baja fertilidad. Se ha comprobado su potencial como forraje verde, superando a la avena (*Avena sativa*) en rendimiento, y su producción como ensilado y forraje, que se considera más prometedora que la producción de grano, es superior a la del trigo (*Triticum aestivum*), el centeno (*Secale cereale*), la avena y la cebada (*Hordeum vulgare*) (Rodríguez y Moreno, 1994; Murillo-Amador, 2001).

Existen diferentes variedades de triticales que pueden ser evaluadas de acuerdo con sus características. De acuerdo con el CIMMYT (1991-1992) la evaluación se ha realizado a través de variedades de primavera, facultativos y de invierno; en donde cada uno posee sus diferencias correspondientes:

- Triticales de primavera
 - De doble propósito (forraje y grano)
 - Tardíos
 - Utilizados para el heno o ensilado
 - Llegan a tener alturas entre 1m a 0.75m
 - Resistentes a las sequías
 - No presentan problemas de enfermedades
- Triticales facultativos
 - De doble propósito (forraje y grano)
 - Precoces
 - Llegan a tener alturas menores a 1m
 - Resistentes a las sequías
 - No presentan problemas de enfermedades
- Triticales de invierno
 - Mayor potencial forrajero
 - Capacidad de rebrote
 - Tardíos

El rendimiento de grano del triticales de acuerdo con Murillo-Amador (2001) se puede clasificar en cuatro subgrupos: bajo (0.1 a 2.9 t ha^{-1}), bajo-medio (3.0 a 3.9 t ha^{-1}), medio (4.0 a 4.9 t ha^{-1}) y alto (más de 5.0 t ha^{-1}).

Las variedades de crecimiento más rápido, gracias a su precocidad y excelente capacidad de rebrote, permiten realizar pastoreos tempranos (hasta dos veces, en invierno y al inicio de

la primavera), seguidos de una posterior cosecha para la producción de grano. Debido a la dificultad para desgranar la espiga, se adapta bien a su aprovechamiento durante el verano, mediante el pastoreo de la planta entera, seca y en pie. También es adecuada para ser segada y utilizada como heno o ensilado (Canals et al., 2019).

López (1994) menciona que la producción de materia seca de la parte aérea en el triticale es mayor que la de trigo y cebada, y que su índice de área foliar es mayor que la cebada y avena. Mediante estudios también se ha comprobado que este cereal es superior en la producción de biomasa a otros cereales como el centeno, avena y cebada.

2.5.2 Centeno (*Scale cereale*)

El centeno se caracteriza por tener un sistema radicular fasciculado similar al del trigo, aunque más desarrollado en este último; reconocido por su alta capacidad de adaptación a suelos ácidos y su resistencia al frío. Es uno de los cereales más tolerantes a las bajas temperaturas, soportando hasta 2 °C. Aunque las heladas pueden dañar los cultivos en cualquier fase de su desarrollo, los efectos son especialmente perjudiciales durante la floración. Su sistema radicular bien desarrollado le otorga una gran capacidad para absorber nutrientes, lo que lo hace menos demandante en este aspecto en comparación con otros cereales, permitiéndole un crecimiento más robusto (GRDC, 2018).

El centeno es monófito o bífito, ya que este se produce en asociación y actúa como un cultivo protector ya que resguarda de bajas temperaturas a especies como el trigo, avena o trébol forrajero y como tutor de leguminosas (Canals et al., 2019).

Posee un potencial forrajero por lo que se le puede realizar varios cortes de forraje y pastoreos intensivos ya que cuenta con una buena capacidad de rebrote; así como también la capacidad de que pueda ser cultivado en diversos ambientes como las zonas áridas en donde además de la baja precipitación, se presentan problemas de salinidad del suelo y del agua. Presenta alturas superiores a 1m (CIMMYT, 1991-1992).

Varios estudios indican que los cultivos multiespecie pueden ser más resistentes a la invasión de malezas y mejorar la producción de forraje gracias a su plasticidad y complementariedad (Muciño-Álvarez et al., 2021). Estos incrementos pueden originarse por el aumento de la biodiversidad de especies, lo que permite una mejor explotación de los recursos disponibles en el ambiente. Así, el número de especies en una mezcla podría influir en su calidad final, lo que a su vez impactaría la respuesta productiva de los animales que la consumen (Klimek-Kopyra et al., 2017).

2.6 Cultivos multiespecie

Los cultivos multiespecie son una práctica agroecológica que integra diferentes tipos de cultivos en un mismo espacio, buscando promover interacciones benéficas entre ellos para mejorar la salud del suelo, aumentar la biodiversidad y optimizar el uso de recursos. Este enfoque es parte de un movimiento hacia sistemas de producción más sostenibles que imitan procesos naturales, favoreciendo la resiliencia de los agroecosistemas frente a condiciones ambientales adversas y promoviendo la seguridad alimentaria. Algunas características clave de los cultivos multiespecies incluyen (Cravero, 2021):

1. Diversificación productiva: Involucra combinaciones de especies que se complementan en su uso de nutrientes y espacio, lo que reduce la competencia y mejora el rendimiento global.
2. Conservación de recursos: Mejora la estructura del suelo, facilita el reciclaje de nutrientes y contribuye a la retención de agua.
3. Control de plagas y enfermedades: La diversidad funcional ayuda a mantener un equilibrio natural al atraer enemigos naturales de plagas.
4. Contribución a los servicios ecosistémicos: Incluye el secuestro de carbono, la mejora de la calidad del suelo y la conservación de la biodiversidad.

En la transición hacia estos sistemas, se destacan prácticas como la rotación de cultivos, la integración de cultivos de cobertura y el uso de abonos orgánicos. Además, estas estrategias pueden aplicarse a nivel de paisaje, promoviendo la sostenibilidad más allá de las unidades individuales de producción (Cravero, 2021).

3. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años, una de las principales dificultades que enfrenta México son los problemas derivados del cambio climático, los cuales impactan de manera significativa la producción de forrajes en el país, como el aumento de las temperaturas y la escasez de agua. Uno de los aspectos que más afecta a los productores de leche a pequeña escala es la escasa disponibilidad de forraje durante la temporada de sequía, lo que conlleva a una disminución en el rendimiento y la producción de leche, pérdida de peso en los animales, mayor utilización de insumos externos, incremento de los costos de producción y, en consecuencia, una reducción en el margen de ganancia en la actividad productiva.

En el Estado de México es muy común la utilización de maíz dentro de los sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) como base forrajera (rastrojo, grano entero, forraje verde, grano molido) y en menor frecuencia como ensilado en condiciones de temporal y riego. Sin embargo, el cultivo de maíz es altamente sensible al estrés hídrico provocando un decrecimiento en su rendimiento cuando se enfrenta restricciones de agua. En base a esto es por lo que es necesario llevar a cabo la evaluación de forrajes alternativos que tengan una mejor adaptación a las condiciones del cambio en los patrones de lluvia (Martínez-García et al., 2015)

Los cereales de grano pequeño se consideran una opción forrajera en estos sistemas debido a que su ciclo agronómico es corto y tienen menores requerimientos de agua. Entre las diferentes especies de cereales el centeno y el triticale han demostrado ser buenas alternativas de siembra gracias a sus características de producción de materia seca en zonas con una limitación de agua o sequías; del mismo modo el forraje de triticale en el punto de vista nutritivo ha demostrado una menor pérdida de calidad a medida que el cultivo avanza en su estado fonológico (Myer y Lozano del Río, 2004). Carrillo-Hernández et al. (2023) evaluaron la utilización de ensilado de mezclas binarias y ternarias de cereales de grano pequeño incluyendo centeno y triticale, pero es importante evaluarlo en cuanto a su inclusión y sustitución de ensilado de maíz, el principal cultivo forrajero en la zona de estudio, pero que es susceptible a los periodos de sequía prolongados generados por el cambio climático.

4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Hay diferencia por la inclusión de la mezcla de un ensilado de centeno-triticale en el rendimiento y la composición química de la leche en comparación con el ensilado de maíz utilizado en la alimentación de vacas lecheras?

5. HIPÓTESIS

Existen diferencias significativas en el rendimiento y composición química de la leche, al integrar en diferentes proporciones el ensilado de centeno-triticale en comparación con el ensilado de maíz en la alimentación de vacas lecheras de un sistema de producción de leche en pequeña escala.

6. OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

Evaluar el efecto en la respuesta productiva a la inclusión de un ensilado de centeno-triticale en la dieta de vacas lecheras de un sistema de producción en pequeña escala en sustitución de ensilado de maíz como base forrajera dentro de la alimentación del ganado en sistemas de producción de leche en pequeña escala.

6.2 Objetivos específicos

- A. Evaluar el rendimiento de leche, condición corporal y peso vivo de vacas lecheras estabuladas en respuesta a la inclusión de ensilado de centeno-triticale vs ensilado de maíz.
- B. Determinar la composición química de la leche en términos de contenido de proteína, grasa, lactosa y sólidos no grasos.
- C. Evaluar la composición química y digestibilidad in vitro del ensilado de centeno-triticale, ensilado de maíz, concentrado comercial, rastrojo de maíz entero, rastrojo de maíz molido y heno de alfalfa para conocer su calidad nutritiva.

7. LÍMITE DE ESPACIO

7.1 Desarrollo experimental y área de estudio

El estudio se llevó a cabo mediante un experimento de campo en una finca en colaboración con un productor de leche en pequeña escala de la comunidad de Gunyo, ubicada en el municipio de Aculco, Estado de México (20°06'N, 99°52'W; 2440 m snm). El clima de la región es templado subhúmedo, con lluvias en verano y semicálido en invierno, presentando heladas entre los meses de noviembre y febrero. La precipitación anual promedio registrada es de 663.6 mm, con temperaturas máximas promedio de 24.3 °C, mínimas promedio de 2.3 °C y una temperatura media anual de 13.2 °C. La altitud promedio de la zona es de aproximadamente 2 400 msnm, característica de los Valles Altos del Centro de México.

La superficie total del municipio es de aproximadamente 48, 400 ha, de los cuales 15, 787 ha están destinadas a actividades agrícolas. De esta superficie agrícola, el 20 % cuenta con sistemas de riego, mientras que el 80 % restante depende de la precipitación natural. Las condiciones climáticas y edafoclimáticas favorecen el cultivo de maíz, que ocupa aproximadamente el 89 % de la superficie agrícola, seguido por avena y praderas cultivadas con gramíneas y leguminosas propias de climas templados, que cubren el 11 % restante. Estos cultivos son comúnmente utilizados como alimento para el ganado lechero en sistemas campesinos (Espinoza-Ortega et al., 2007).

Los análisis de laboratorio se realizaron en las instalaciones del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), ubicadas en el Campus UAEMéx El Cerrillo de la Universidad Autónoma del Estado de México, en las coordenadas 19°24' de latitud norte y 99°41' de longitud oeste.

El sitio se localiza a una altitud aproximada de 2,593 msnm y presenta un clima templado subhúmedo con régimen de lluvias en verano y oscilación térmica marcada. La temperatura media anual es de 8.2 °C y la precipitación media anual es de 738.6 mm, con una marcada estacionalidad climática, distinguiéndose una estación seca de noviembre a febrero y una estación lluviosa de junio a septiembre (INEGI, 2020; CONAGUA, 2021).

8. LÍMITE DE TIEMPO

La fase experimental de campo se llevó a cabo durante los meses de mayo y junio de 2025, con una duración total de 56 días, organizados en tres periodos experimentales consecutivos de 14 días cada uno. En cada periodo, los primeros 12 días se destinaron a la adaptación de las vacas a las dietas experimentales, con el objetivo de minimizar efectos residuales entre tratamientos y permitir la estabilización del consumo y la fermentación ruminal. Los dos días restantes de cada periodo se emplearon para la toma de muestras y el registro de las variables productivas, de acuerdo con el diseño experimental establecido.

Durante la fase experimental, los animales fueron manejados bajo las condiciones habituales del productor, respetando los criterios de un enfoque de investigación participativa. Se aseguró el suministro diario de los alimentos correspondientes a cada tratamiento, así como el acceso permanente a agua potable. El consumo de los ingredientes se ajustó en función de los requerimientos estimados y del diseño experimental.

La fase de laboratorio se desarrolló durante los meses de agosto y septiembre de 2025. Las muestras recolectadas fueron analizadas para determinar su composición química y valor nutritivo, siguiendo las técnicas bromatológicas estandarizadas y validadas en el Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), de acuerdo con lo establecido en su Manual de Técnicas de Laboratorio. Estas metodologías incluyeron la determinación de materia seca, proteína cruda, fibra detergente neutra, fibra detergente ácida y digestibilidad in vitro de la materia seca, garantizando la confiabilidad y repetibilidad de los resultados obtenidos.

9. MATERIALES Y MÉTODOS

9.1 Establecimiento de cultivos y manejo de ensilado

El ensilado de centeno–triticale se obtuvo a partir de las variedades ‘Nacional’ para centeno (*Secale cereale* L.) y ‘Bicentenario’ para triticale ($\times$ *Triticosecale* Wittm.). La siembra se realizó el 14 de julio de 2023, utilizando una densidad de 100 kg·ha⁻¹ de triticale y 50 kg·ha⁻¹ de centeno, correspondiente a una proporción 1:2 (centeno:triticale). La fertilización se aplicó con una dosis total de 103–60–40 (N–P–K), utilizando urea, superfosfato y nitrato de potasio como fuentes de nutrientes. Las aplicaciones se fraccionaron en dos eventos: la primera al momento de la siembra, aportando 23 kg N·ha⁻¹, 60 kg P·ha⁻¹ y 40 kg K·ha⁻¹, y la segunda a los 45 días después de la siembra, con una dosis de 80 kg N·ha⁻¹. Durante el ciclo del cultivo no se realizaron aplicaciones de herbicidas ni insecticidas.

La cosecha se efectuó a los 75 días posteriores a la siembra, cuando ambos cultivos se encontraban en estado de grano lechoso tardío, utilizando una cortadora tipo chopper (GEHL 7200). El material cosechado fue conservado mediante ensilado, empleando un sistema de almacenamiento convencional utilizado por el productor colaborador. El tipo específico de silo y el tiempo exacto de fermentación previo a su apertura no fueron controlados de manera experimental, debido a que el manejo del ensilado se realizó conforme a las prácticas habituales del sistema productivo.

No obstante, al inicio de la fase experimental, el ensilado presentaba características organolépticas adecuadas, tales como olor característico ácido-láctico, ausencia de mohos visibles y coloración normal, lo que indicó que el proceso de fermentación se encontraba estabilizado. Asimismo, la calidad del ensilado fue caracterizada mediante su composición química y digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS), lo que permitió evaluar su valor nutritivo de manera objetiva, independientemente del sistema de almacenamiento empleado.

El ensilado de maíz (*Zea mays* L.) correspondió a la variedad comercial de maíz híbrido ‘Niebla’, cultivada conforme a las prácticas agronómicas habituales del productor colaborador. La cosecha se realizó en la etapa de grano masoso–maduro, y el material fue

destinado al ensilado bajo las mismas condiciones de manejo y almacenamiento del sistema productivo.

9.2 Animales y diseño experimental

Se utilizaron nueve vacas de la raza Holstein multíparas ($2.6 \text{ partos} \pm 0.6$) con un rendimiento preexperimental de leche de $13.4 \pm 0.6 \text{ kg/día}$, un peso promedio $488.4 \pm 23.8 \text{ kg}$ y 125 ± 16.6 días en leche. Las vacas se distribuyeron en tres diferentes grupos con similitudes en producción de leche y fueron asignadas aleatoriamente a las secuencias de tratamientos, donde evaluó la inclusión de ensilado de centeno-triticale (ECT) en sustitución de ensilado de maíz (EMZ). Los niveles de inclusión se establecieron de manera proporcional con base en la cantidad de EMZ ofrecido a los animales, con el fin de asegurar que la sustitución fuera equivalente en términos de materia seca y mantener una oferta total de forraje constante entre tratamientos. De esta manera, los tres tratamientos quedaron conformados de la siguiente forma: T1 = 100% EMZ; T2 = 85% EMZ + 15% ECT; T3 = 70% EMZ + 30% ECT (Cuadro 1). Esta especificación permite que las diferencias observadas en la respuesta productiva y nutricional de las vacas se atribuyan directamente al nivel de sustitución del EMZ y no a las variaciones en la cantidad total de alimento proporcionado.

Tomando como base los elementos fijos que propone el productor, la dieta de las vacas incluyó 4.0 kg/vaca/día de concentrado comercial con 21% de proteína cruda (PC), 2.4 kg de rastrojo (paja) de maíz en greña, 2.0 kg de rastrojo de maíz molido, y 1.7 kg de heno de alfalfa, todos expresados en base seca. Dentro del marco de un enfoque de investigación participativa, se garantizó el respeto a las decisiones del productor durante todo el proceso experimental, considerando que el estudio se desarrolló en su unidad de producción, utilizando su ganado, su mano de obra y sus condiciones de manejo (Conroy et al., 2005).

Se estimó el consumo de materia seca individual de cada vaca utilizando la ecuación propuesta por MAFF (1984), la cual considera el peso vivo y el rendimiento de leche al inicio del experimento con la siguiente ecuación: $\text{Consumo (kg MS/día)} = 0.025 \times \text{peso vivo (kg)} + 0.1 \times \text{rendimiento de leche (kg/día)}$.

El ensilado ofrecido a cada vaca se determinó restando del consumo total estimado la contribución en materia seca proveniente de los ingredientes fijos de la dieta.

Cuadro 1. Tratamientos experimentales

INGREDIENTES	T1	T2	T3
Ensilado de maíz ²	5.5	4.7	3.5
Ensilado de centeno-triticale ²	--	0.8	2.0
Heno de alfalfa ²	1.7	1.7	1.7
Concentrado comercial ²	4.0	4.0	4.0
Rastrojo de maíz molido ²	2.0	2.0	2.0
Rastrojo de maíz en greña ²	2.4	2.4	2.4
TOTAL	15.6	15.6	15.6

² Expresado como kg en materia seca (MS) ofertado.

Los animales objeto de estudio durante el experimento se manejaron juntamente del resto hato, y para fines prácticos cada grupo se identificó con collares de diferente color: azul (T1), amarillo (T2) y rojo (T3), lo que permitió reconocer fácilmente la dieta correspondiente a cada grupo en determinado periodo.

Se empleó un diseño de cuadro latino 3x3 replicado tres veces (Kaps y Lamberson, 2004). Las secuencias de tratamiento en el primer y tercer cuadro fueron asignadas de forma aleatoria, y las vacas fueron agrupadas en grupos de tres para formar un cuadro latino. Estas agrupaciones se asignaron también aleatoriamente a las secuencias de tratamiento, lo que constituyó una doble aleatorización (tanto de las secuencias de tratamiento como de las vacas dentro de ellas). En el cuadro 02, la secuencia de tratamientos fue un reflejo de la del cuadro 01, con el fin de reducir los efectos de arrastre o “carry-over” (Celis-Alvarez et al., 2016). (Cuadro 2).

El experimento tuvo una duración total de 56 días, organizados en tres periodos de 14 días cada uno. En cada periodo, los primeros 12 días se destinaron a la adaptación de los animales de la dieta correspondiente, mientras que los últimos 02 días.

Cuadro 2. Diseño de cuadro latino 3x3, con asignación aleatoria de tratamientos y vacas

CUADRO 1				CUADRO 2				CUADRO 3			
	PE1	PE2	PE3		PE1	PE2	PE3		PE1	PE2	PE3
Chaparra	T3	T2	T1	Maskita	T1	T2	T3	Blanquita	T2	T3	T1
Lástima	T1	T3	T2	Venada	T2	T3	T1	Chikita	T1	T2	T3
Lucero	T2	T1	T3	Negra	T3	T1	T2	Cacahuata	T3	T1	T2

9.3 Variables de desempeño animal

9.3.1 Rendimiento y composición química de la leche

Las vacas fueron ordeñadas dos veces al día (mañana 7:00 h y tarde 16:00 h) con una ordeñadora mecánica portátil, y el rendimiento individual de leche se registró en los dos últimos días de cada periodo experimental, utilizando una balanza de reloj con capacidad de 20 kg. A partir de las muestras de leche obtenidas de los dos ordeños en los días de muestreo (cuatro muestras en total por vaca), se tomaron submuestras de 100 ml para determinar el contenido de grasa, proteína, lactosa y sólidos no grasos mediante un analizador de leche por ultrasonido (Lactoscan Farm Eco.), se utilizó el valor promedio de cada componente. El rendimiento de leche se expresó también como leche corregida al 3.5% de grasa (LCG 3.5%), utilizando la ecuación propuesta por Parekh (1986).

9.3.2 Condición corporal y peso vivo

Las vacas se pesaron individualmente antes de la ordeña de la tarde (16:00 h) con una báscula electrónica. La condición corporal de las vacas fue evaluada por un único observador

para asegurar la consistencia en las valoraciones, utilizando una escala numérica del 1 al 5, según lo descrito por Wildman et al. (1986) (Figura 3). En esta escala, una puntuación de 1 corresponde a una condición corporal extremadamente deficiente, mientras que una puntuación de 5 indica una condición corporal excesivamente alta.

Figura 3. Escala de evaluación de condición corporal en vacas lecheras

Grado de condición corporal	Vértebra en la espalda	Aspecto posterior del hueso pélvico	Aspecto lateral de la línea entre las caderas	Cavidad entre cola y la tuberosidad isquiática	
				Aspecto posterior	Aspecto lateral
1 Subcondicionamiento severo					
2 Esqueleto obvio					
3 Buen balance de esqueleto y tejidos superficiales					
4 Esqueleto no tan obvio como tejidos superficiales					
5 Sobrecondicionamiento severo					

Fuente: Carta de puntuación de condición corporal para vacas Holstein, Adaptado de Edmonson A.J., Lean I.J., Weaver .D. Farver T. & Webster G. (1989). A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. J. Dairy Sci.

9.3.3 Consumo de alimento

Las vacas tuvieron acceso a comederos colectivos asignados por tratamiento, donde cada grupo de tres vacas recibió su ración de forrajes en dos porciones después de cada ordeña. Primero se proporcionó los tratamientos de ensilados, y posteriormente, los complementos de rastrojo de maíz entero, rastrojo molido y heno de alfalfa fueron ofrecidos una vez que cada grupo termine el consumo de ensilados. Este procedimiento se implementó para garantizar que las vacas consumieran completamente el ensilado. En los tratamientos T2 y T3, el ECT se mezcló manualmente con el EMz antes de ofrecerlo, para evitar que las vacas seleccionen los componentes. La variable que se evaluó fue el consumo promedio de cada

forraje por grupo en cada tratamiento. Además, la suplementación con concentrado comercial se ofertó en dos raciones divididas, con la mitad de la cantidad en cada ordeño.

El consumo de materia seca (CMS) de los tratamientos se estimó utilizando el método de Energía Metabolizable Utilizada, originalmente descrito por Baker (1982) y aplicado en estudios como los de Carrillo-Hernández et al. (2020).

Al requerimiento de energía metabolizable (EM) de cada vaca, según lo establecido por MAFF (1984), se le resto el aporte de EM/MS/día de los alimentos fijos (concentrado, rastrojo de maíz entero y molido, y heno de alfalfa), basado en la estimación de su contenido de EM a partir del análisis químico. La diferencia resultante se dividió entre el contenido de EM de los tratamientos de ensilados, también determinado por su análisis químico.

9.4 Composición química de los alimentos ofrecidos

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

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

9.5 Análisis estadístico

Las variables derivadas de las mediciones en los animales fueron analizadas con un cuadro latino 3x3 repetido, de acuerdo con el siguiente modelo (Penn State et al., 2024):

$$Y_{ijkl} = M + C_i + V_{ji} + P_k + t_l + e_{ijkl}$$

Dónde:

M = Media general

C = Efecto del cuadro $i = 1, 2$

V = Efecto de vacas dentro del cuadro $j = 1, 2, 3$

P = Efecto debido al periodo experimental $k = 1, 2, 3$ (PE1, PE2, PE3)

t = Efecto de tratamiento $l = 1, 2, 3$ (T1, T2, T3)

e = Error experimental

La digestibilidad in vitro se analizó utilizando un análisis de varianza (ANOVA) correspondiente al diseño de cuadro latino 3x3, considerando como fuentes de variación el tratamiento, el periodo y el animal. Cuando el ANOVA mostro efectos significativos ($P \leq 0.05$), las medidas se compararon mediante la prueba Tukey ($P \leq 0.05$).

10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

10.1 Composición química de los alimentos ofrecidos

La evaluación de la composición nutricional del ensilado de maíz (EMz), ensilado de centeno-triticale (ECT), heno de alfalfa (HA), concentrado comercial (CC), rastrojo de maíz molido (RMm) y rastrojo de maíz entero (RMe) proporcionó información relevante para optimizar la alimentación del ganado bovino. Ambos ensilados presentaron valores similares de materia seca (MS), proteína cruda (PC), digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y energía metabolizable estimada (eEM). Sin embargo, el ECT mostró un contenido de materia orgánica (MO) aproximadamente 6 % menor en comparación con el EMz, mientras que los contenidos de fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) fueron superiores en el ECT, con incrementos del 10 % y 23 % respectivamente (Cuadro 5).

Cuadro 3. Composición química de los alimentos usados en los tratamientos y estimación de la energía metabolizable

ALIMENTOS								
	EMz	ECT	EEM	P	HA	CC	RMm	RMe
MS (g/kg)	429.9	442.8	9.15	0.044	907.7	874.2	938.3	892.9
MO (g/kg/ MS)	916.6	867.5	12.70*	< 0.05	883.4	887.1	898.3	883.4
PC (g/kg MS)	92.7	93.6	1.88	0.881	138.8	213.3	29.7	30.3
FDN (g/kg MS)	667.9	737.1	17.40*	< 0.05	477.6	439.6	831.8	839.8
FDA (g/kg MS)	354.5	456.1	25.10*	< 0.05	338.7	93.8	514.0	519.8
DIVMS (g/kg MS)	678.3	653.9	11.20	0.327	639.6	691.7	534.7	540.1
EMe (MJ/kg MS)	10.0	9.7	0.17	0.305	9.4	10.3	7.8	7.9
Almidón (g/kg MS)	365.4	358.8	--	--	--	603.1	88.0	41.5

EEM: Error estándar de la media. *P < 0.05; ^{a, b} P < 0.05

El maíz (*Zea mays* L.) es particularmente sensible al déficit hídrico, ya que la falta de agua durante etapas críticas de su desarrollo, como la floración y la formación de grano, puede reducir significativamente la tasa de fotosíntesis, la translocación de carbohidratos y la acumulación de biomasa, afectando tanto el crecimiento vegetativo como la producción de forraje de alta calidad (Hsiao, 2014; Lobell et al., 2014). Asimismo, el estrés hídrico puede modificar la composición estructural del forraje, incrementando la concentración de fibra detergente neutra (FDN) y alterando su digestibilidad (Muck, 2010). Durante el año de establecimiento de los cultivos evaluados, la precipitación pluvial fue un 57 % inferior al promedio histórico de la región de estudio (Velarde-Guillen et al., 2022). No obstante, esta condición ambiental probablemente favoreció una maduración más acelerada de las plantas, reflejada en un alto contenido de materia seca (40%). A pesar de ellos, la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) se mantuvo elevada y cercana al consumo observado, lo que indica que el forraje conservó una alta calidad nutricional y un adecuado aprovechamiento por parte de los animales.

La madurez de la planta y el contenido de MS son determinantes para obtener ensilados de alta calidad, ya que influyen en la fermentación, estabilidad aeróbica y valor nutritivo del forraje. Se ha reportado que ensilados de maíz y trigo con contenidos de MS entre 300 y 350 kg/kg garantizan un balance adecuado entre digestibilidad y estabilidad del ensilado, favoreciendo un rendimiento productivo positivo en rumiantes (Ashbell y Weinberg, 2001; Ferraretto et al., 2018; Kung et al., 2018). Por otro lado, el manejo de la cosecha, el picado uniforme y la compactación del forraje son factores complementarios que pueden mejorar la conservación y calidad del ensilado, reduciendo pérdidas por fermentación y crecimiento de microorganismos indeseables (Weinberg y Muck, 1996).

En cuanto a los alimentos complementarios utilizados en la dieta, su composición química fue consistente con lo reportado en estudios previos que evaluaron estrategias de alimentación de ganado lechero basadas en la incorporación de concentrados y subproductos agrícolas. Estos alimentos aportan nutrientes esenciales como proteína cruda, energía digestible y minerales, y su correcta inclusión permite balancear la dieta para maximizar la producción de leche y la eficiencia alimenticia sin comprometer la salud del rumiante (García-Martínez et al., 2020; Carrillo-Hernández et al., 2023a; NRC, 2001).

10.2 Variables de desempeño animal

10.2.1 Rendimiento y composición química de la leche

Los resultados obtenidos (Cuadro 3) indican que los tratamientos T1, T2 y T3 no produjeron diferencias significativas en las variables productivas y corporales evaluadas en las vacas ($P > 0.05$). La producción promedio de leche fue de 15.2 kg/vaca/día (16.1 kg/vaca/día de LCG 3.5%), con un contenido medio de grasa de 38.4 g/kg, proteína de 28.6 g/kg, lactosa de 43.0 g/kg y sólidos no grasos (SNG) de 78.4 g/kg. Estos resultados coinciden con lo reportado en sistemas de producción lechera de pequeña escala o semi-intensiva, en los cuales la producción diaria de leche por vaca y la composición en grasa y proteína se mantienen en rangos moderados; por ejemplo, en vacas bajo sistema de pequeña escala se han reportado contenidos medios de grasa de 3.1% y proteína de 2.89% (Saleh et al., 2009)

Los resultados coinciden con estudios previos que evaluaron la incorporación de ensilados de cereales de grano pequeño en la dieta de vacas lecheras, donde no se observaron efectos adversos sobre la producción de leche ni sobre su composición química (Gómez-Miranda et al., 2020; Carrillo-Hernández et al., 2023a; Vega-García et al., 2023). De manera similar, investigaciones que incluyeron ensilados de maíz demostraron que, cuando se mantiene una correcta relación forraje/concentrado y se asegura la calidad del ensilado, la producción láctea se mantiene estable sin comprometer la eficiencia alimenticia (Álvarez-García et al., 2023; Ferraretto et al., 2013).

Sin embargo, el contenido proteico de la leche fue ligeramente inferior a los valores reportados por Bernal-Martínez et al. (2007) y Alfonso-Ávila et al. (2012). Según Khan et al. (2015), la madurez del ensilado de maíz es un factor crítico que influye en la síntesis de proteína láctea; específicamente, cuando el contenido de materia seca (MS) supera los 350 g/kg, se produce una reducción de proteína debido a la menor digestibilidad de la fibra detergente neutra (FDN) y la disminución de carbohidratos fermentables disponibles para la microbiota ruminal. Resultados similares han sido reportados por Ferraretto y Shaver (2015), quienes señalan que ensilados con más de 35% de MS presentan menor digestibilidad de FDN y almidón, reduciendo la eficiencia de fermentación ruminal y la producción de proteína microbiana. En este experimento, los ensilados presentaron contenidos de MS superiores a

400 g/kg, lo que probablemente limitó la eficiencia de la fermentación ruminal y la producción de proteína microbiana, reflejándose en una ligera disminución de proteína en la leche. Además, la energía metabolizable (EM) suministrada por la dieta, junto con la proporción de forraje y concentrado, influye en la producción de leche y su composición. Una relación adecuada permite mantener la ingestión de materia seca y asegurar la disponibilidad de nutrientes para la síntesis de grasa y proteína láctea, mientras que un exceso de MS muy fibroso puede reducir la digestibilidad total y limitar la eficiencia productiva (NRC, 2001; Van Soest, 1994).

Cuadro 4. Peso vivo, condición corporal de las vacas, rendimiento y composición química de la leche

T R A T A M I E N T O S					
	T1	T2	T3	EEM (T)	Valor de P
Peso vivo (kg)	482	476	473	11.7 ^{NS}	--
Condición corporal	2.39	2.36	2.36	0.153 ^{NS}	--
RL (kg/vaca/día)	15.5	14.9	15.2	0.426 ^{NS}	0.230
LCG 3.5% (kg/vaca/día)	16.2	16.1	15.9	0.408 ^{NS}	0.774
Grasa (g/kg)	37.5	39.8	38.1	1.120 ^{NS}	0.492
Grasa (kg/vaca/día)	580.2	591.7	576.9	17.30 ^{NS}	0.847
Proteína (g/kg)	28.6	28.4	28.8	0.293 ^{NS}	0.698
Proteína (kg/vaca/día)	445.0	423.8	438.3	10.50 ^{NS}	0.139
Lactosa (g/kg)	43.1	42.7	43.3	0.384 ^{NS}	0.313
Lactosa (kg/vaca/día)	670.1	637.0	658.6	15.40 ^{NS}	0.084
SNG (g/kg)	78.6	77.7	78.9	0.708 ^{NS}	0.324
SNG (kg/vaca/día)	1220.41	159.51	199.62	28.10 ^{NS}	0.726

Tratamientos: T1= EMz (100%); T2 = EMz (85%) + ECT (15%); T3= EMz (70%) + ECT (30). EMz = ensilado de maíz;
ECT = ensilado de triticale-centeno. LCG 3.5% = Leche corregida a 3.5% de grasa

Respecto al estado corporal de las vacas, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($P > 0,05$). El peso vivo promedio fue de 484.6 kg/vaca y la condición corporal promedio fue de 2.3. No obstante, según las guías comunes de evaluación de condición corporal para vacas lecheras, una puntuación de 2.3 en lactación se considera por debajo del rango óptimo recomendado (idealmente entre 2.5 y 3.25 durante la lactancia) para mantener reservas energéticas adecuadas.

En cuanto a la eficiencia productiva, expresada como kg de leche por kg de MS consumida (RL/kg MS) y kg de LCG 3.5 % por kg de MS consumida (LCG 3.5 %/kg MS), tampoco se observaron diferencias significativas entre tratamientos ($P > 0.05$). Los valores promedio fueron de 2.90 kg de leche/kg MS y 3.06 kg de LCG 3.5 %/kg MS, lo que indica una conversión eficiente de la materia seca consumida en producción láctea. Estos resultados superan los reportados por da Silva et al. (2021) en vacas Holstein con una producción media de 28 kg de leche/día, donde la eficiencia productiva fue de 1.11 kg de leche/kg MS y 1.14 kg de LCG 3.5 %/kg MS.

Estos resultados sugieren que, si bien la dieta suministrada permitió mantener la producción de leche y composición láctea, la condición corporal baja señala una posible limitación en las reservas energéticas del hato, lo que podría afectar la salud, la persistencia de la producción y la reproducción si el estado se mantiene. Por ello, se recomienda revisar el balance energético-proteico de la dieta, así como monitorear frecuentemente la condición corporal individual, especialmente en periodos de alta producción o estrés metabólico.

10.3 Consumo de alimento

No se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los tratamientos con ECT y EMZ, ni en el consumo total de materia seca (Cuadro 4). El consumo promedio de ensilados fue de 5.23 kg MS/vaca/día, mientras que el consumo total de materia seca alcanzó 13.13 kg MS/vaca/día. En términos relativos, los ensilados representaron aproximadamente el 40 % del consumo diario de MS, el concentrado el 26.7 %, y el rastrojo entero, rastrojo molido y heno de alfalfa el 33.3 % restante. Este nivel de ingestión correspondió a aproximadamente

al 2.7 % del peso vivo de las vacas, lo que se considera dentro del rango óptimo para vacas lecheras de tamaño y producción similares (NRC, 2001).

Cuadro 5. Consumo de alimentos ofrecidos y consumo total por tratamiento (kg MS/vaca/día)

T R A T A M I E N T O S					
	T1	T2	T3	EEM	Valor de P
Ensilado de maíz	5.28	4.44	3.57	0.24	0.00
Ensilado de centeno-triticale	0.00	0.78	1.62	0.14	0.00
CMS total de ensilado	5.28	5.23	5.19	0.22	0.97
Concentrado	3.50	3.50	3.50	--	--
Rastrojo se maíz entero	1.00	1.00	1.00	--	--
Rastrojo de maíz molido	1.90	1.90	1.90	--	--
Heno de alfalfa	1.50	1.50	1.50	--	--
CMS total	13.18	13.13	13.09	0.22	0.97

CMS = Consumo de materia seca (kg MS/vaca/día)

El consumo de materia seca es un determinante crítico de la productividad y eficiencia de los rumiantes, ya que afecta directamente la ingesta de energía y proteína disponibles para la síntesis de leche (Van Soest, 1994). La ausencia de diferencias significativas entre tratamientos indica que la inclusión de ECT o EMz no afectó la palatabilidad ni la ingestión voluntaria de los ensilados, sugiriendo que ambos tipos de forraje fueron aceptados de manera similar por los animales.

Estos hallazgos reflejan que una dieta balanceada, con adecuada proporción de forraje y concentrado, permite mantener un consumo suficiente de nutrientes y optimizar la conversión alimenticia en leche y sólidos lácteos. Además, muestran que los ensilados de cereales empleados, tanto ECT como EMz, proporcionan una fuente energética y proteica eficiente,

sin limitar la ingestión voluntaria ni comprometer la productividad de las vacas lecheras (Ferraretto et al., 2013; Kung et al., 2018).

12. CONCLUSIONES

La sustitución progresiva del ensilado de maíz por ensilado de centeno–triticale no afectó el consumo total de ensilado ni la ingesta total de materia seca, ni modificó de manera significativa la respuesta productiva de las vacas, independientemente del nivel de inclusión evaluado. Estos resultados indican que ambos tipos de ensilado pueden complementarse dentro de la dieta sin comprometer el desempeño productivo de los animales.

El ensilado de centeno–triticale cosechado en etapa de grano maduro presentó un contenido de materia seca y una digestibilidad in vitro de la materia seca comparables a los del ensilado de maíz, lo que se reflejó en niveles similares de producción de leche entre tratamientos. Bajo las condiciones del presente estudio, la inclusión de este ensilado no limitó el consumo ni la eficiencia productiva de las vacas en ordeño.

En conjunto, los resultados obtenidos sugieren que el ensilado de centeno–triticale constituye una alternativa técnica viable para la alimentación de vacas lecheras en sistemas de producción de pequeña escala, particularmente durante la temporada seca en los Valles Altos del centro de México, donde la disponibilidad de forrajes puede verse restringida.

13. LITERATURA CITADA

- Ankom. (2005). Procedures (for NDF, ADF, and in vitro Digestibility). Ankom Technology Method. <http://www.ankom.com>
- Ashbell, G., y Z.G. Weinberg. 2001. Ensilaje de cereales y cultivos forrajeros en el trópico. En: L.'t. Mannetje (ed.). Uso del ensilaje en el trópico privilegiando opciones para pequeños campesinos. Estudio FAO producción y protección vegetal, FAO, Roma.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (1990). Official methods of analysis (15.^a ed.). Washington, DC: AOAC.
- Baker, R.D. 1982. Estimating herbage intake from animal performance. P. 77-93. In: J.D. Leaver (ed.). Herbage Intake Handbook. British Grassland Society, Maidenhead, UK.
- Bernal-Martínez, L. E., Arriaga-Jordán, C. M., & Espinoza-Ortega, A. (2007). Producción y composición química de leche en sistemas de producción de doble propósito. *Tropical Animal Health and Production*, 39(1), 47–53. <https://doi.org/10.1007/s11250-006-4413-7>
- BM Editores. (2021, Abril). Las perspectivas del sector lechero este año no serán las mejores. BM Editores – Ganadería. <https://bmeditores.mx/ganaderia/las-perspectivas-del-sector-lechero-este-ano-no-seranlas-mejores/>
- Canals, R. M., Peralta, J., & Zubir, E. (2019). Familia Gramineae, xTriticosecale Wittmack: triticales. Herbario de La Universidad Pública de Navarra. <https://www.unavarra.es>
- Carrillo-Hernández S., F., López-González, J.G. Estrada-Flores and C.M. Arriaga- Jordán. 2020. Milk production and estimated enteric methane emission from cows grazing ryegrass pastures in small-scale dairy systems in Mexico. *Tropical Animal Health and Production* 52(6):3609-3619. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02398-0>.
- Carrillo-Hernández, S., F. López-González, J. Velarde-Guillén and C.M. Arriaga-Jordán. 2023b. 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>.

Carrillo-Hernández, S., J. Velarde-Guillén, F. López-González y C.M. Arriaga-Jordán. 2023a. Ensilados mixtos de cereales de grano pequeño en la alimentación de vacas en sistemas de producción de leche en pequeña escala [Mixed small grain cereal silages in the feeding of dairy cows in small scale dairy systems]. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 26(85):1-11, <https://doi.org/10.56369/tsaes.4837>.

Celis-Alvarez, M. D., López-González, F., Martínez-García, C. G., Estrada-Flores, J. G., & 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*. <https://doi.org/10.1007/s11250-016-1063-0>

CIMMYT. (1984–1986). Report on Wheat Improvement.

CIMMYT. (1991–1992). Notas sobre las características generales de los materiales remitidos a la Universidad Autónoma de Baja California.

CIMMYT. (1992). Wheat Special Report No. 4. Skovmand, B. Wheat and Triticale Cultivar Abbreviations.

CIMMYT. (1993a). Wheat Special Report No. 19. Woolston, J. E. Wheat, barley and triticale cultivars: A list of publications in which national cereal breeders have noted the cooperation on germplasm they received from CIMMYT.

CIMMYT. (1993b). Results of the 1989-90 and 1990-91 Triticale nurseries: The twenty-first and twenty-second international triticale yield nurseries (ITYN). México, D.F., México.

CIMMYT. (1994). Results of the 21st and 22nd International Triticale Screening Nurseries (ITSNs) 1989-90 and 1990-91. México, D.F., México.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2021). Normales climatológicas 1981-2010. Servicio Meteorológico Nacional.

Conroy, C. (2005). Participatory Livestock Research. ITDG Publishing. <https://doi.org/10.1007/s11250-016-1063-0>

Cravero, R. (2021). Agroecología y relaciones multiespecies para la coproducción de alimentos en la región pampeana de Argentina. <https://ri.conicet.gov.ar>

CSIRO. (2007). Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants. En M. Freer, H. Dove, & J. V. Nolan (Eds.), Canberra: CSIRO Publishing.

da Silva Días, M.S., L.G. Ghizzi, J.A. Marques, A.T. Nunes, N.T.S. Grigoletto, L.S. Gheller, T.B.P. Silva, G.G. Silva, D.N. Lobato, E. Costa, L.F. Silva and F.P. Rennó. 2021. Effects of organic acids in total mixed ration and feeding frequency on productive performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 104(5):5405-5416. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19419>.

Espinoza-Ortega, A., Álvarez-Macías, A., del Valle, M. C., & Chauvete, M. (2005). La economía de los sistemas campesinos de producción de leche en el Estado de México. *Técnica Pecuaria en México*.

Espinoza-Ortega, A., Espinosa-Ayala, E., Bastida-López, J., Castañeda-Martínez, T., & Arriaga-Jordán, C. M. (2007). Small-scale dairy farming in the highlands of central Mexico: Technical, economic and social aspects and their impact on poverty. *Experimental Agriculture*. <https://doi.org/10.1017/S0014479706004613>

Fadul-Pacheco, L., Wattiaux, M. A., Espinoza-Ortega, A., Sánchez-Vera, E., & Arriaga-Jordán, C. M. (2013). Evaluation of sustainability of small-scale dairy production systems in the highlands of Mexico during the rainy season. *Agroecology and Sustainable Food Systems*. <https://doi.org/10.1080/21683565.2013.775990>

FAO. (2018). Sistemas de producción. <http://www.fao.org/dairy-production-products/production/production-systems/es/>

Federación Mexicana de la Lechería. (2022). Situación del sector lácteo y producción sustentable de leche. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/crece-la-produccion-lechera-pero-enfrenta-retos-uno-principal-esta-en-la-normatividad-322012>

Ferraretto, L. F., & Shaver, R. D. (2015). Effects of whole-plant corn silage hybrids and management practices on digestibility and lactation performance in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98(3), 1955–1970. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9056>

Ferraretto, L.F., R.D. Shaver and B.D. Luck. 2018. Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. *Journal Dairy Science* 101(5):3937-3951. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13728>.

FIRA - Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. (2020). Panorama Agropecuario: Leche y lácteos. <http://s3.amazonaws.com/inforural.com.mx/wp-content/uploads/2019/06/16093139/Panorama-Agroalimentario-Leche-yla769cteos-2019.pdf>

García-Martínez, A., F. López-González, F. Prospero-Bernal, B. Albarrán-Portillo and C.M. Arriaga-Jordán. 2020. Evaluación de rastrojo de maíz (*Zea mays* L.) tratado con urea como una alternativa en la suplementación de vacas lecheras en sistemas de producción de leche en pequeña escala. *Agro Productividad* 13(3):11-17. <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1628>.

Gómez-Miranda A., J.G. Estrada-Flores, E. Morales-Almaraz, F. López-González, G. Flores-Calvete, C.M. Arriaga-Jordán. 2020. Barley or black oat silages in feeding strategies for small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. *Canadian Journal of Animal Science* 100:221-227. <http://dx.doi.org/10.1139/cjas-2018-0237>.

Grains Research & Development Corporation (GRDC). (2018). Cereal Rye Plant Growth and Physiology. https://grdc.com.au/__data/assets/pdf_file/0030/369336/GrowNote-Cereal-Rye-North-4-Physiology.pdf

Hsiao, T.C. 2014. Maiz. P.119-226. In: P. Steduto, T.C. Hsiao, E. Fereres, D. Raes. Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Estudio FAO: Riego y drenaje No. 66. FAO, Roma.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2007). El ABC del cambio climático: Impactos y acciones en México. http://participacionsocial.sre.gob.mx/docs/incidencia_social_ambito_regional_multilateral/agenda_internacional/agenda_y_temas_internacionales/cambio_climatico/presentaciones/cc_julia_1.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). Información climatológica del Estado de México. INEGI.

Khan, N.A, P. Yu, M. Ali, J.W. Cone and W.H. Hendriks. 2015. Nutritive value of maize silage in relation to dairy cow performance and milk quality. *Journal Science Food Agriculture* 95: 238-252. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6703>.

Klimek-Kopyra, A., Bacior, M., & Zajac, T. (2017). Biodiversity as a creator of productivity and interspecific competitiveness of winter cereal species in mixed cropping. *Ecological Modelling*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.10.012>

Kung, L., Shaver, R. D., Grant, R. J., & Schmidt, R. J. (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4020–4033. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>

Lobell, D. B., Hammer, G. L., McLean, G., Messina, C., Roberts, M. J., & Schlenker, W. (2014). The critical role of extreme heat for maize production in the United States. *Nature Climate Change*, 3(5), 497–501. <https://doi.org/10.1038/nclimate1832>

López, A. D., Saavedra, M. G. F., Arreaza, L. C., Muñoz, M. J. G., & Rodríguez, M. C. E. (2012). Evaluación de sistemas de alimentación como estrategia para afrontar la estacionalidad en ganado lechero.

Mancipe-Muñoz, E. A., Vásquez-Vanegas, J. E., Castillo-Sierra, J., Ortiz-Cuadros, R. E., Avellaneda-Avellaneda, Y., & Vargas-Martínez, J. de J. (2021). Productividad y valor nutricional de forraje de cebada y trigo del trópico alto colombiano. *Agronomía Mesoamericana*. <https://doi.org/10.15517/am.v32i1.40465>

Martínez-García, C. G., Rayas-Amor, A. A., Anaya-Ortega, J. P., Martínez-Castañeda, F. E., Espinoza-Ortega, A., Prospero-Bernal, F., & Arriaga-Jordán, C. M. (2015). Performance of small-scale dairy farms in the highlands of central Mexico during the dry season under traditional feeding strategies. *Tropical Animal Health and Production*. <https://doi.org/10.1007/s11250-014-0724-0>

Muciño-Álvarez, M., Albarrán-Portillo, B., López-González, F., & 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*.
<https://doi.org/10.1007/s11250-021-02564-y>

Murillo, A. B., Escobar, H. A., Fraga, M. H., & Pargas, L. R. (2001). Rendimiento de grano y forraje de líneas de triticale y centeno en Baja California Sur, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. <https://doi.org/10.35196/rfm.2001>

Myer, R. O., & Lozano del Río, A. J. (2004). Triticale as animal feed. En M. Mergoum & H. Gomez-Macpherson (Eds.), *Triticale improvement and production* (pp. 171–191). FAO Plant Production and Protection Paper. Roma: FAO. <https://www.fao.org/4/y5553e/y5553e.pdf>

National Research Council. (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle* (7th rev. ed.). Washington, DC: National Academy Press. <https://doi.org/10.17226/9825Y>

Odermatt, P., & Santiago, C. M. J. (1997). Ventajas comparativas en la producción de leche en México. *Agroalimentaria*.

Penn State. (2024). The Latin Square design [Lesson 4.3]. STAT 503 — Experimental Design. Pennsylvania State University. <https://online.stat.psu.edu/stat503/lesson/4/4.3>

Prospero-Bernal, F., Martínez-García, C. G., Olea-Pérez, R., López-González, F., & Arriaga-Jordán, C. M. (2017). Intensive grazing and maize silage to enhance the sustainability of small-scale dairy systems in the highlands of México. *Tropical Animal Health and Production*. <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1360-2>

Robledo-Padilla, R. (2018). Producción de leche en México y su comercio de lácteos con países del APEC. <https://ru.iiec.unam.mx/3744/1/052-Robledo.pdf>

Saleh, N. M., et al. (2009). Milk production and composition of dairy cows raised under landless small scale dairy system in Tunisia. *Livestock Research for Rural Development*, 21(11).

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2022). Escenario mensual de productos agroalimentarios: Informe del 11 de diciembre de 2022.

<https://www.gob.mx/siap/documentos/reporte-mensual-de-escenarios-de-18-productos-agroalimentarios-2022>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2024). Producción pecuaria. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pecuaria>

Van Soest, P. J. (1994). Nutritional ecology of the ruminant (2nd ed.). Ithaca, NY: Cornell University Press.

Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)

Vega-García, J. I., López-González, F., Morales-Almaraz, E., & 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*. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02958-y>

Weinberg, Z. G., & Muck, R. E. (1996). New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage. *FEMS Microbiology Reviews*, 19(1), 53–68. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.1996.tb00253.x>

Wildman, E.E., G.M. Jones, P.E. Wagner, M.Y. Boman, H.F. Troutt and T.N. Lesch. 1986. A dairy cow body condition scoring system and its relationship to selected production characteristics. *Journal of Dairy Science*. 65(3):495-501. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(82\)82223-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(82)82223-6).