



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

**MAESTRÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**RESPUESTA PRODUCTIVA DE VACAS ALIMENTADAS CON
ENSILADO DE LA ASOCIACION DE GIRASOL (*Helianthus annuus*)
CON EBO (*Vicia sativa*) EN SISTEMAS DE PRODUCCION DE LECHE
EN PEQUEÑA ESCALA**

TESIS

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

PRESENTA:

MISAEAL ANGELES GONZÁLEZ



El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, octubre de 2026.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

**MAESTRÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**RESPUESTA PRODUCTIVA DE VACAS ALIMENTADAS CON
ENSILADO DE LA ASOCIACION DE GIRASOL (*Helianthus annuus*)
CON EBO (*Vicia sativa*) EN SISTEMAS DE PRODUCCION DE LECHE
EN PEQUEÑA ESCALA**

TESIS

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

PRESENTA:

MISAEAL ANGELES GONZÁLEZ

COMITÉ DE TUTORES

DR. FELIPE LÓPEZ GONZÁLEZ

DR. CARLOS MANUEL ARRIAGA JORDÁN

DRA. MARIA DANAEE CELIS ALVAREZ



El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, octubre de 2026.

Resumen

La alimentación del ganado bovino lechero representa uno de los principales factores que influyen en la productividad y rentabilidad de los sistemas de producción, especialmente en regiones con limitaciones en la disponibilidad de forrajes de calidad. En el altiplano central de México, la estacionalidad de las lluvias y la variabilidad climática afectan la producción de forrajes, lo que hace necesario el uso de estrategias de conservación como el ensilaje. En este estudio se evaluó la composición nutricional de ensilados elaborados a partir de girasol (*Helianthus annuus* L.) y su combinación con ebo (*Vicia sativa* L.), como alternativa para la alimentación de bovinos lecheros.

Se seleccionaron seis vacas Holstein multíparas, con una producción media de 19 Kg de leche/vaca/día se distribuyeron en dos grupos de tres animales con base en la similitud de la producción de leche preexperimental, a fin de controlar la variación inicial. Se evaluaron tres tratamientos: los cuales consistieron en diferentes combinaciones de ensilado de maíz y ensilado de girasol-ebo. T1=20 % ensilado de maíz + 80 % de ensilado de girasol-ebo; T2 = 30 % de ensilado de maíz + 70 % de ensilado de girasol-ebo, T3= 40 % de ensilado de maíz + 60 % de ensilado de girasol-ebo. Mas 4.6 Kg MS de concentrado comercial al día. El experimento se desarrolló bajo un diseño de cuadro latino 3x3 replicado, con una duración de 42 días, distribuidos en tres periodos experimentales de 14 días cada uno en cada periodo, se consideraron 10 días para la adaptación a las dietas y 4 días para el muestreo de leche y alimentos. Las variables de composición química (PC, DIVMS, FDN, FDA) se evaluaron con un diseño experimental completamente al azar.

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P<0.05$) para PC. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P>0.05$) para FND, FAD, DIVMS y EM. En cuanto a los resultados de respuesta productiva de las vacas no hubo diferencias estadísticamente significativas ($P>0.05$) entre tratamientos para ninguna de las variables evaluadas. La producción de leche corregida en grasa al 3.5% (LCG 3.5%) fue similar entre tratamientos, con valores de 21.33 Kg (T1), 20.39 Kg (T2) y 20.58 Kg (T3), y un promedio general de 20.76 Kg de leche/vaca/día. El peso vivo se mantuvo constante entre tratamientos, con valores medios de 548.40, 533.70 y 546.20 Kg para

T1, T2 y T3, respectivamente, sin diferencias significativas entre los tratamientos ($P>0.05$). En cuanto a la composición química de la leche, los valores medios de grasa oscilaron entre 42.10 y 43.10 g/Kg, mientras que la proteína fluctuó entre 30.83 a 31.12 g/Kg, y la lactosa entre 46.57 y 46.95 g/Kg, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P>0.05$).

El uso de especies forrajeras alternativas como el ebo (*Vicia sativa* L.) o el girasol (*Helianthus annuus*), son una opción viable para estos sistemas de producción. Los resultados aquí obtenidos ofrecen alternativas para los productores lecheros de pequeña escala, quienes muchas veces enfrentan restricciones económicas y climáticas para adquirir o producir forrajes de alta calidad como el maíz.

Palabras clave: ensilaje, girasol, ebo, leguminosas, digestibilidad.

Abstract

The feeding of dairy cattle is one of the main factors influencing the productivity and profitability of production systems, particularly in regions where the availability of high-quality forage is limited. In the central highlands of Mexico, seasonal rainfall patterns and climatic variability affect forage production, making it necessary to employ preservation strategies such as silage. This study evaluated the nutritional composition of silage made from sunflower (*Helianthus annuus* L.) and a mixture of sunflower and vetch (*Vicia sativa* L.), as an alternative feed for dairy cattle.

Six multiparous Holstein cows, with an average milk yield of 19 kg of milk per cow per day, were selected and divided into two groups of three animals based on the similarity of their pre-experimental milk yield, in order to control for initial variation. Three treatments were evaluated, consisting of different combinations of maize silage and sunflower-ebo silage. T1 = 20 per cent maize silage + 80 per cent sunflower-EBO silage; T2 = 30 per cent maize silage + 70 per cent sunflower-EBO silage; T3 = 40 per cent maize silage + 60 per cent sunflower-EBO silage. Plus 4.6 kg DM of commercial concentrate per day. The experiment was conducted using a replicated 3×3 Latin square design, lasting 42 days, divided into three experimental periods of 14 days each; 10 days were allowed for adaptation to the diets and 4 days for milk and feed sampling. The

chemical composition variables (CP, IVMS, NDF, ADF) were assessed using a completely randomised experimental design.

Statistically significant differences ($P < 0.05$) were found for PC. No statistically significant differences ($P > 0.05$) were found for FND, FAD, DIVMS and EM. Regarding the cows' production performance, there were no statistically significant differences ($P > 0.05$) between treatments for any of the variables assessed. Milk yield corrected to 3.5% fat (LCG 3.5%) was similar across treatments, with values of 21.33 kg (T1), 20.39 kg (T2) and 20.58 kg (T3), and an overall average of 20.76 kg of milk per cow per day. Live weight remained constant across treatments, with mean values of 548.40, 533.70 and 546.20 kg for T1, T2 and T3, respectively, with no significant differences between treatments ($P > 0.05$). As regards the chemical composition of the milk, the mean fat values ranged from 42.10 to 43.10 g/kg, whilst protein fluctuated between 30.83 and 31.12 g/kg, and lactose between 46.57 and 46.95 g/kg; no significant differences were observed between the treatments ($P > 0.05$).

The use of alternative forage crops such as vetch (*Vicia sativa* L.) or sunflower (*Helianthus annuus*) is a viable option for these production systems. The results obtained here offer alternatives for small-scale dairy farmers, who often face economic and climatic constraints when it comes to purchasing or producing high-quality forage such as maize.

Keywords: silage, sunflower, vetch, dairy cows, digestibility.

INDICE

II. REVISIÓN DE LITERATURA	11
2.1. La producción de leche	11
2.2. Sistemas de producción de leche en pequeña escala	11
2.3. Proceso de ensilaje	12
2.4. El girasol (<i>Helianthus annus</i> L).....	13
2.5. Características de las leguminosas.....	14
2.6. Principales leguminosas.....	15
III. JUSTIFICACIÓN.....	18
IV. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	20
V. HIPOTESIS.....	21
VI. OBJETIVOS.....	22
6.1. Objetivo general	22
6.2. Objetivos específicos	22
VII. MATERIALES Y METODOS.....	23
7.1. Localización del sitio experimental	23
7.2. Establecimiento de los cultivos.....	23
7.3. Evaluación y calidad nutritiva de los forrajes.....	24
7.4. Experimentos de respuesta animal	24
7.5. Tratamientos	25
7.6. Variables para medir en el experimento.....	25
7.6.1. Rendimiento de leche	25
7.6.2. Peso vivo.....	25
7.6.3. Composición química de la leche	25
7.6.4. Estimación de consumo.....	25
VIII. RESULTADOS	27
8.1 Artículo de investigación	27
8.1.1. Resumen del artículo.....	28
IX. CONCLUSIÓN	29
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE), producen en México entre el 30 al 37% de la producción nacional de leche con hatos de hasta 30 vacas (Hemme et al., 2007). Con una infraestructura limitada y pocas unidades en producción generan ingresos y empleo con lo que pueden disminuir el nivel de pobreza (Camacho-Vera et al., 2017).

La base de la alimentación en los sistemas de producción de leche en pequeña escala se caracteriza principalmente de praderas cultivadas, rastrojo de maíz, ensilado de maíz y concentrado comercial, siendo la alimentación el mayor de los gastos que se ve reflejado hasta en un 70% del total de gastos de producción (Martínez-García et al., 2015; Fadul-Pacheco et al., 2013).

Uno de los principales problemas que enfrentan los sistemas de producción de leche en pequeña escala es que los costos de producción de leche, son muy elevados, lo que pone en riesgo la viabilidad de las unidades de producción (Prospero-Bernal et al., 2017), aunado a esta problemática, en los últimos años los efectos del cambio climático cada vez se hacen presentes con mayor frecuencia en México, donde observamos que existen periodos prolongados de sequía, lluvias erráticas que afectan directamente a los cultivos que son utilizados en la alimentación de las vacas.

Ante la situación cambiante de los efectos del cambio climático en el altiplano central de México, el aumento de costos en los forrajes y concentrados hacen necesaria la implementación de nuevas estrategias de alimentación que permitan a la rentabilidad de los sistemas de producción de leche en pequeña escala, con la inclusión de forrajes de calidad y la utilización de cultivos propios. (Prospero-Bernal et al., 2017; González-Alcántara et al., 2020)

Uno de los forrajes que se presenta como una alternativa en los sistemas de producción de leche en pequeña escala es el girasol (*Helianthus annuus* L.) es un forraje oleaginoso de ciclo corto a comparación del maíz, con mayor tolerancia al estrés hídrico, tolera bajas temperaturas y se adapta bien a diferentes tipos de suelo (Tan et al., 2014).

Es un forraje que se puede utilizar de diferentes maneras, como en forraje verde o ensilado. Caracterizado por un alto contenido en extracto etéreo, 70-200 g/kg MS y proteína 90-150 g/kg, dependiendo la etapa fenológica los parámetros pueden verse modificados (Tan et al., 2014).

Una de las desventajas del girasol, es el bajo contenido de proteína cruda y el contenido de taninos limitan el consumo por parte de los animales, tomando en cuenta las características anteriores, el girasol se puede asociar con una leguminosa para compensar el contenido de proteína cruda y lograr una mayor digestibilidad del forraje por parte de los animales.

La asociación del girasol con una leguminosa como es el caso del ebo común (*Vicia sativa*), no solo representa ventajas nutritivas en el forraje, sino que además la leguminosa tiene la característica de fijar el nitrógeno atmosférico, lo que contribuye a la menor utilización de fertilizantes nitrogenados, mejora la fertilidad del suelo.

Como se mencionó anteriormente los sistemas de producción de leche en pequeña escala basan la alimentación del ganado en el cultivo de maíz, utilizando los esquilmos de la cosecha o ensilado, pero este cultivo requiere de una gran cantidad de agua, además de ser de ciclo largo, en ese sentido el girasol es un cultivo de ciclo corto y que se puede sembrar una vez que se ha cosechado el maíz, esto puede tener implicaciones importantes, por qué el productor puede obtener dos cosechas de forraje de buena calidad y de esta manera reducir el uso de insumos externos a la unidad de producción.

Durante la época de lluvias en los sistemas de producción de leche en pequeña escala, las unidades de producción de leche en pequeña escala tienen suficiente forraje de calidad, sin embargo, durante la época de secas generalmente pueden tener escases de forraje para la alimentación de sus vacas, una de las formas más sencillas de conservar forraje para la época de secas es a través del procesos de ensilaje.

El procesos de ensilaje, es la forma más fácil de conservar el forraje con buenas características nutricionales. Tomando en cuenta las características del girasol asociado con ebo común, se puede tener un cultivo forrajero que tenga una buena calidad nutricional y que sea un cultivo complementario al cultivo de maíz. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la respuesta productiva de vacas a la inclusión de diferentes niveles del ensilado de girasol-ebo en la alimentación de vacas lecheras en sistemas de producción de leche en pequeña escala.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. La producción de leche

La producción de leche como actividad agropecuaria, proporciona ingresos a los pequeños productores con ganancias diarias y constantes. Además de que proveen un recurso alimenticio (leche y subproductos lácteos) para su autoconsumo (FAO, 2016).

La producción de leche de vaca en México es de 12 millones de toneladas (CANILEC, 2021), los SPLPE se definen como unidades de producción dependientes del trabajo familiar, tienen cantidades limitadas de tierra y son especializadas en la producción de leche de vaca con hatos de entre 3 y 35 vacas más sus reemplazos (Fadul-Pacheco et al., 2013). Estos sistemas ocupan alrededor del 35% de la población nacional de vacas, comprendiendo más del 78% de todos los productores especializados del país, en el Estado de México aporta el 4% de producción nacional de leche con sistemas de producción de leche en pequeña escala (Martínez-García et al., 2015; Plata-Reyes et al., 2018; Prospero-Bernal et al., 2017).

Los problemas ambientales y ecológicos debido a las alteraciones del clima se conocen como cambio climático (SEMARNAT, 2009). Las actividades humanas como la utilización de combustibles fósiles, tala de bosques y actividades pecuarias han causado incremento en la temperatura (Cárdenas et al., 2012)

El sector agrícola en México se ve afectado considerablemente por estos cambios en el clima especialmente por la temporada de lluvias, la cual es utilizada para la producción de forraje que es utilizado en la alimentación del ganado, es necesario tener alternativas de alimentación con forrajes más resistentes al estrés hídrico, temperaturas elevadas y ciclos de producción más cortos.

2.2. Sistemas de producción de leche en pequeña escala

En los SPLPE existen factores que aumentan los costos de producción, el no contar con mano de obra familiar y tener que contratar mano de obra externa o el comprar alimentos para ganado. La alimentación del ganado lechero llega a representar del 60% al 80%

del costo final de producción, arriesgando la sustentabilidad económica de los sistemas de producción de leche en pequeña escala. (Fedul-Pacheco et al., 2013).

La alimentación en los Sistemas de producción de Leche en Pequeña Escala localizadas en el altiplano central del país se basa principalmente en rastrojo de maíz, que por su baja calidad nutricional requiere ser suplementado con grandes cantidades de concentrados comerciales para lograr rendimientos vendibles, pero a muy altos costos de producción (Martínez-García et al., 2015; Muciño-Álvarez et al., 2021; Prospero-Bernal et al., 2017).

La mayoría de estos sistemas dependen de los forrajes obtenidos en la misma unidad de producción, los cuales tienen logran mayor disponibilidad de forrajes en la época de lluvias, en la temporada de secas tienen que suplementar con concentrados o adquirir forrajes de terceros. (Espinoza-Ortega et al., 2007)

Debido a los retos de alimentación en los SPLPE es necesario implementar alternativas de alimentación para disminuir costos de producción, una alternativa a bajo costo es el ensilaje (Martínez-Fernández et al., 2015)

2.3. Proceso de ensilaje

El ensilaje es el proceso de conservación de forrajes verdes a través de una fermentación anaeróbica disminuyendo la pérdida de nutrientes y materia seca. La capacidad que tiene un forraje de tener una fermentación se define como ensilabilidad (Weinberg et al., 2013; Martínez-Fernández et al., 2015)

Las plantas presentan dos tipos de carbohidratos, los carbohidratos estructurales y no estructurales o de reserva, dentro de los cuales se encuentra el almidón y los carbohidratos solubles, estos son fuente de energía para la planta como para los microorganismos que se encargan de la fermentación; estos carbohidratos son variables dependiendo de la especie forrajera y la edad de la planta (Khan et al., 2012; Martínez-Fernández., 2015)

Una vez que la planta tiene una edad adecuada con un contenido de materia seca necesario para un buen ensilado es cortada, la actividad celular comienza a hacer uso de las fuentes de energía disponibles hasta que es consumido todo el oxígeno, en ausencia de oxígeno los microorganismos facultativos se mantienen y generan una fermentación láctica lo cual tiene como resultado una disminución del pH (Khan et al., 2012; Weinberg et al., 2013).

Al parar la actividad de las células vegetales la proliferación de bacterias de la familia Enterobacteriácea se ve favorecida, estas bacterias incrementan su número en temperaturas de 18 a 25 grados Celcius y se detienen al llegar a un pH de 4.2, a este proceso se le denomina fase acética (Sainz-Ramírez et al., 2017).

Cuando la fase acética ha terminado, inicia la fase láctica a cargo de las bacterias lácticas que transforman los carbohidratos solubles en ácido láctico. Al momento de que se tiene un pH de 3 a 4 y anaerobiosis se puede llamar a este proceso forrajero: Ensilado (Khan et al., 2013; Marínez-Fernández et al., 2015).

2.4. El girasol (*Helianthus annus* L)

El girasol (*Helianthus annuus* L.) es nativa de México de ciclo productivo anual, es una planta con tallo grueso, de porte erecto, las hojas llegan a alcanzar 30 centímetros de longitud con raíces principales profundas, raíces secundarias poco profundas y abundantes (Sainz-Ramírez et al., 2017). Es un cultivo con alta tolerancia al frío, resiste altas temperaturas, déficit de humedad y tolera bien diferentes tipos de suelos, caracterizado por tener un ciclo más corto a comparación del maíz (Tan et al., 2014). Las variedades de ciclo tardío tienen una duración de 110-120 días.

El desarrollo del girasol se ha agrupado en dos categorías:

Vegetativa:

VE. De los 6 a los 12 días. Emerge la planta.

Vn. De los 24 a los 30 días. Surgen las hojas verdaderas, las que miden por lo menos 4 centímetros de longitud.

Reproductiva

R1. De los 35 a los 40 días. Comienza la aparición del botón floral.

R2. De los 35 a los 40 días. El capítulo comienza a alargarse y separa de la hoja mas proxima.

R3. De los 40 a los 50 días. Fase de heliotropismo.

R4. De los 40 a los 50 días. Comienzo de apertura de la inflorescencia.

R5. De los 60 a los 70 días. Fase de floración. Petalos falsos presentes en máxima expresión.

R6. De los 75 a los 90 días. Floración completa. El capítulo comienza a curvarse, las semillas se encuentran inmaduras, de consistencia lechosa con pericardio formado.

R7. De los 90 a los 110 días. Capítulo totalmente curvado. Las semillas tienen una consistencia lechosa-pastosa.

R8. De los 90 a los 110 días. Capítulo de color amarillo. Las semillas tienen una consistencia pastosa.

R9. Mayor de 125 días. Capítulo de color marrón. Semillas completamente maduras.

2.5. Características de las leguminosas

Las leguminosas son plantas que tienen la semilla en forma de legumbre, la semilla de las leguminosas es utilizada para la alimentación animal y humana. Contienen un elevado contenido de proteína cruda. Se adaptan fácilmente a una gran cantidad de suelos y climas poco favorables para el desarrollo de otras plantas. Además de ser

conocidas por su capacidad para la fijación del nitrógeno atmosférico, lo que reduce el uso de fertilizantes nitrogenados

Dentro de la alimentación animal las leguminosas juegan un papel importante por el aporte de proteína cruda tanto en forrajes en verde como en la elaboración de concentrados proteicos.

2.6. Principales leguminosas

Desde el punto de vista de la nutrición animal pueden considerarse dos grupos de leguminosas: las denominadas forrajeras y las leguminosas-grano. Entre las primeras se encuentran especies como alfalfa (*Medicago sativa*), trébol blanco (*Trifolium repens*), trébol rojo (*Trifolium pratense*) y otras, utilizadas tradicionalmente en la alimentación de los animales rumiantes como forraje. El segundo grupo incluye principalmente haba (*Vicia faba*), guisante (*Pisum sativum*) y diversas especies que se usan sobre todo en alimentación de aves y cerdos, aunque también, en menor medida, en concentrados para rumiantes. Por otra parte, en los últimos años se ha dado especial relevancia al hecho de que las leguminosas pueden contribuir a la llamada transición hacia una agricultura y sistemas agroalimentarios sostenibles (Voisin et al., 2014). En general, las leguminosas-grano tienen un elevado contenido en proteína (25-45%, dependiendo del género e incluso de la especie botánica) además, presentan un elevado contenido en carbohidratos. Sin embargo, el uso de estas materias primas en alimentación animal, si bien está incrementándose, aún está lejos de los valores teóricamente posibles teniendo en cuenta su contenido en nutrientes. Por ello, uno de los retos actuales en el ámbito de la Producción Animal es determinar los factores que limitan la eficiencia nutricional de las raciones basadas en leguminosas-grano.

En los sistemas de producción de leche en pequeña escala, se utiliza mucho la asociación de leguminosas con las gramíneas. Esta asociación permite que las praderas tengan una mayor palatabilidad y que se reduzca el uso de fuentes nitrogenadas, lo que de alguna manera contribuye a la excreción de nitrógeno al ambiente.

2.7. Proceso de ensilado

El proceso de ensilaje es un método de conservación del forraje o subproductos agrícolas, que permite mantener buenas características de la planta y que es bastante útil, cuando se tiene escasas de forraje en ciertas épocas críticas del año. El proceso se da mediante la compactación, expulsión del aire, lo que ocasiona un medio anaeróbico, permitiendo el desarrollo de bacterias que acidifican el forraje. El proceso de ensilaje consta de dos etapas fundamentalmente.

2.7.1. Fase aeróbica

En esta etapa se lleva a cabo el proceso de llenado del silo, el forraje recién cortado continua con sus procesos fisiológicos, por lo tanto, se debe de llevar a cabo en el menor tiempo posible, con la finalidad de evitar la pérdida de nutrientes del forraje, en esta etapa se deben de considerar algunos aspectos como son:

- a) el contenido de materia seca del forraje. El forraje verde debe tener un porcentaje de materia seca de entre 30 y 35 %, lo que equivale a un porcentaje de humedad de 65 a 70%.
- b) Se recomienda que la cantidad de carbohidratos solubles sea entre 8 y 12 % de la materia seca del forraje a ensilar.
- c) Capacidad amortiguadora. El forraje debe poseer una baja capacidad amortiguadora, por ejemplo, el maíz posee esa característica. Cuando la resistencia es alta, se requieren aditivos que permitan que el pH descienda de manera rápida. En caso contrario las leguminosas en general poseen una alta capacidad amortiguadora, esto es debido al alto contenido de proteína cruda y la baja cantidad de azúcares.
- d) Tamaño de partícula. Se recomienda que el tamaño de partícula sea no mayor a 5 cm, lo recomendable es de 1 a 2 cm, esto es debido a que entre más pequeña sea la partícula para ensilar más fácil se compacta el forraje.
- e) Salida de aire, se recomienda que una vez que el forraje este tapado con plástico, se debe de colocar una capa de tierra o llantas para sacar todo el aire que se encuentra en el forraje.

2.7.2. Fase anaeróbica

La etapa anaeróbica inicia una vez que se ha consumido el total del oxígeno que aun estaba en forraje, también se le conoce como fase de estabilización. Esta fase puede ser indefinida y se concluye una vez que el silo ha sido abierto. El tiempo que se recomienda para esta fase es mínimo 28 días, que es el tiempo que supone se lleva cabo la fermentación del forraje.

Una vez abierto el silo, ya no se tiene que tapar e inicia la fase de alimentación, la cual consiste por lo menos quitar 20 cm de la cara del silo para alimentar a los animales.

III. JUSTIFICACIÓN

Uno de los problemas que enfrentan los sistemas de producción de leche es la alimentación de las vacas, la alimentación del ganado es principalmente a través de residuos de cosecha y praderas cultivadas, en los últimos años se han implementado nuevas tecnologías en la alimentación de las vacas (uso de ensilados y pastoreo de praderas cultivadas) que de algún modo han demostrado disminuir los costos de alimentación de las vacas y la rentabilidad de las unidades de producción que implementaron estas tecnologías (Prospero-Bernal et al. 2017). El cambio climático puede afectar a los sistemas de producción agropecuarios del centro de México al generar un régimen de lluvias errático con periodos secos más prolongados y años con menor precipitación, lo que obliga a investigar alternativas forrajeras.

Lo anterior tiene implicaciones en dos ámbitos:

a) Efecto sobre los cultivos de temporal que dispondrán de menores cantidades de agua, con estaciones de lluvias erráticas e inciertas.

b) Menor disponibilidad de agua para riego tanto por la menor captura en presas y en la recarga de los mantos freáticos, como por la mayor demanda de la población urbana y el sector industrial.

En el altiplano central de México, existen dos estaciones bien definidas por las precipitaciones, en los meses de junio a noviembre es la temporada lluviosa y de diciembre a mayo la temporada seca, siendo esta última la estación crítica para la alimentación del ganado. En esta época escasea el forraje de las praderas y los productores tienen que recurrir a la compra de insumos externos que ponen en riesgo la viabilidad de la unidad de producción. Una opción que se tiene es la conservación de alimentos que en la época lluviosa se cultivan y se conservan para alimentar a las vacas en la época seca.

Por lo que se hace necesario buscar alternativas de alimentación, que permitan al productor obtener forraje de calidad para las vacas, en ese sentido la asociación de

leguminosas con oleaginosas, pueden representar una alternativa que por una lado incrementen el contenido de proteína cruda en el forraje y un buen contenido de grasa en la leche, todo esto con la finalidad de reducir costos de producción, que le proporcione a la granja una mayor viabilidad económica.

IV. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es el efecto en el desempeño productivo de vacas lecheras alimentadas con ensilado de girasol solo o con ebo en comparación con el ensilado de maíz en Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala?

¿Cuál será la calidad nutricional del forraje asociado de girasol y una leguminosa?

V. HIPOTESIS

No existen diferencias significativas en el rendimiento, composición química de la leche, peso vivo y condición corporal de vacas lecheras alimentadas con ensilado de girasol solo o con la asociación de ebo en comparación con el ensilado de maíz como estrategia de alimentación en SPLPE.

VI. OBJETIVOS

6.1. Objetivo general

Evaluar el cultivo de girasol asociado con diversas leguminosas forrajeras que sean una alternativa en las estrategias de alimentación del ganado lechero en sistemas de producción de leche en pequeña escala en el Municipio de Aculco.

6.2. Objetivos específicos

1. Determinar el desempeño agronómico del cultivo de girasol solo y asociado con ebo.
2. Evaluar la composición química y digestibilidad *in vitro* del cultivo de girasol solo y asociado con ebo.
3. Evaluar los efectos productivos, económicos de incluir ensilado de girasol solo y asociado con ebo en combinación con ensilado de maíz en la dieta de vacas en sistemas de producción de leche en pequeña escala
4. Cuantificar la composición química, digestibilidad de girasol en combinación con diferentes niveles de ebo.

VII. MATERIALES Y METODOS

7.1. Localización del sitio experimental

El experimento se realizó en una unidad de producción de leche a pequeña escala en el municipio de Aculco de Espinoza; localizado en las coordenadas 20° 00'– 20° 17' norte, y 99° 40'–100° 00' este del Estado de México. El municipio cuenta con una superficie de 453.3 km² representando el 2.18% de la superficie total del estado (Fadul et al., 2013), con una altitud de 2 440 msnm y un clima templado subhúmedo, con una temperatura media de 13.2°C, con precipitación pluvial promedio anual de 700 mm (INEGI, 2009); con heladas de octubre a febrero, y precipitaciones anuales superiores a 700 mm con una estación lluviosa de mayo a octubre y una estación seca de noviembre a abril (Celis-Álvarez et al., 2017).

El experimento se desarrolló mediante un enfoque de investigación participativa rural, a través del desarrollo participativo de tecnología pecuaria según (Conroy, 2004); a través de experimentos en finca de acuerdo con la disponibilidad de terreno para la siembra de cultivos y vacas en producción del productor participante.

7.2. Establecimiento de los cultivos

Se sembró una superficie de 7500 m² de girasol (*Helianthus annuus*), asociado con ebo común (*Vicia sativa*), con una densidad de siembra de 10 kg de girasol y 80 kg de ebo común. El cultivo se fertilizo con 80 kg/ha de nitrógeno, 60 kg/ha de fosforo y 40 kg/ha de potasio. La asociación del cultivo de girasol con ebo común se sembró el 15 de diciembre de 2025 y se cosecho a los 102 días postsiembra. Una vez cosechado el forraje se ensilo en un silo tipo pastel.

Se trabajó con una hectárea de maíz, que se sembró de acuerdo con los procedimientos que lleva a cabo comúnmente el productor. La cantidad de semilla que se utilizó para la siembra del maíz fue de 25 kg/ha de un híbrido que el productor participante utiliza para la siembra. Se aplicaron 70 kg de nitrógeno al cultivo de maíz, la cual se dividió en dos partes, 30 kg al momento de la siembra y 40 kg de nitrógeno a los 40 días de establecido el cultivo, además se fertilizo con 65 kg/ha de fosforo. El forraje fue cosechado a los 150 días postsiembra.

7.3. Evaluación y calidad nutritiva de los forrajes

Los forrajes fueron ensilados en un silo tipo pastel, el cual fue abierto a los 36 días de haberse ensilado. Se tomaron muestras de los forrajes una vez que el silo fue abierto para realizar los análisis de composición química de los forrajes.

Se tomaron muestras de los ensilados tanto de la asociación girasol-ebo, como del maíz, para lo cual se utilizaron bolsas de plástico, cada muestra de 500 g aproximadamente. Las muestras fueron trasladadas al laboratorio de bromatología del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales. Las muestras se colocaron en bolsas de papel, se pesaron y posteriormente se metieron a secar en una estufa de aire forzado a 65°C durante 48 horas para determinar el contenido de materia seca de los forrajes, posteriormente las muestras fueron molidas en un martillo de molinos marca pulvex 200.

El contenido de proteína cruda se realizó a través del método de Kjeldahl que cuantifica la cantidad de nitrógeno del forraje, para sacar la cantidad de proteína cruda se multiplico por el factor 6.25 (AOAC, 1990). La cantidad de fibra detergente neutro y fibra detergente ácido se determinaron según la técnica de Van Soest *et al.* (1991).

La digestibilidad de la materia seca se determino a través del método del uso de líquido ruminal, para se extrajo liquido ruminal de una vaca fistulada con una alimentación que tenia 70 % de forraje y 30 % de concentrado comercial, siguiendo los procedimientos de Ankom, (2020). La energía metabolizable de los alimentos se estimo a través de la ecuación propuesta por CSIRO (2007): $EM = 0.172 \text{ DIVMS (\%)} - 1.707$.

7.4. Experimentos de respuesta animal

Se llevó a cabo un experimento bajo el arreglo estadístico de cuadro latino 3x3 repetido dos veces, el experimento tuvo una duración de 56 días, divididos en cuatro periodos de 14 días cada uno, de los cuales los diez primeros fueron de adaptación a la dieta y los últimos cuatro días fueron de toma de muestras (Miguel et al., 2014). Seis vacas tipo Holstein multíparas, en primer tercio de lactación fueron distribuidas bajo un arreglo estadístico de cuadro latino 3x3, la secuencia de vacas se aleatorizó en el cuadro 1, la secuencia del segundo cuadro fue en espejo con respecto al primer cuadro. Las vacas

se distribuyeron en los cuadros de acuerdo con la producción de leche preexperimental, con la finalidad de controlar la variación inicial.

7.5. Tratamientos

Para este trabajo se evaluaron tres tratamientos, los cuales consistieron en diferentes niveles de inclusión del ensilado de girasol-ebo con el ensilado de maíz. Los tratamientos evaluados fueron: T1= 20 % de ensilado de maíz + 80 % de ensilado de girasol-ebo, T2= 30 % de ensilado de maíz + 70 % de girasol-ebo y T3= 40 % de ensilado de maíz + 60 % ensilado de girasol-ebo.

7.6. Variables para medir en el experimento

7.6.1. Rendimiento de leche

Las vacas se ordeñaban a las 6:00 y 18:00 horas, utilizando una máquina de ordeño, el rendimiento diario de leche se registro utilizando una báscula de reloj con capacidad de 20 kg. El rendimiento de leche corregido a 3.5% de grasa (LCG 3.5%) se calculó de acuerdo con Salami et al. (2021) mediante la siguiente ecuación: $LCG\ 3.5\% \text{ (kg/día)} = (0.35 * \text{kg leche}) + (18.57 * \text{kg grasa/día})$.

7.6.2. Peso vivo

El peso vivo de las vacas se registró con una báscula de barras (Gallagher modelo W210), con una capacidad de 1000 kg, de acuerdo con la clasificación de Rodenburg, (2000).

7.6.3. Composición química de la leche

Se colectaron muestras de leche para determinar la composición de la leche (proteína, grasa y lactosa) tanto del ordeño de la mañana como el de la tarde, se realizó una mezcla homogénea de ambos ordeños de esta mezcla se determinó con un analizador por ultrasonido (Lactoscan Ultrasónico Farm Eco) proteína, grasa y lactosa.

7.6.4. Estimación de consumo

Se acordó con los productores establecer condiciones que permitan medir el consumo individual de ensilado y concentrado por cada vaca durante la duración del experimento registrando el ensilado ofrecido en fresco (kg/vaca/día) restando el rechazo, expresado

como kg MS/vaca/día. Igual se hará con el concentrado que será suministrado durante o al final de las ordeñas.

7.7. Análisis estadístico

Las variables animales fueron analizadas como un diseño de cuadro latino 3x3 replicado, con el siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + R_i + V_j(i) + P_k + T_l + e_{ijkl}$$

Donde: μ = media general; R = efecto de la réplica o cuadro latino, $i = 1, 2$; V = efecto de la vaca dentro de la réplica o cuadro, $j = 1, 2, 3$; P = efecto del periodo experimental, $k = 1, 2, 3$; T = efecto del tratamiento, $l = 1, 2, 3$; e = Error residual. Las diferencias significativas ($P < 0.05$) se evaluaron por comparación de medias de Tukey. Los datos siguen una distribución normal, de acuerdo con la prueba de Shapiro-Wilk, además se realizó

la prueba de homogeneidad de varianzas, presentando igualdad de varianzas de acuerdo con la prueba de Bonferroni, para el caso de independencia de los datos se aplicó la prueba de chi cuadrada, para la cual se obtuvo un valor mayor a 0.05, lo que indica que existe independencia entre los datos (Lawal, 2014).

Las variables de composición química (PC, FDN, FDA, DIVMS) se evaluaron con un diseño experimental completamente al azar, con el siguiente modelo:

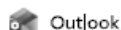
$$Y_i = \mu + T_i + e_i$$

Donde, μ = media general; T_i = efecto del tratamiento, $i = 1, 2, 3$; e = error residual.

VIII. RESULTADOS

8.1 Artículo de investigación

Se generó el artículo científico titulado: Respuesta productiva de vacas alimentadas con la inclusión de ensilado de girasol-ebo como un cultivo complementario en sistemas de producción de leche en pequeña escala.



[TSAES] Editor Decision

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

Fecha Mar 19/05/2026 10:41 PM

Para Felipe Lopez Gonzalez <flopezg@uaemex.mx>

CC Misael Angeles Gonzalez <mangelesg327@alumno.uaemex.mx>; Melchor Rosas-Dávila <melchor911@hotmail.com>; Maria Nayeli Marin Santana <mmarins222@alumno.uaemex.mx>; Jesús Israel Vega-García <jivegagarcia0811@gmail.com>; Maria Danaee Celis-Alvarez <mvzdanaeecelis@yahoo.com.mx>; Carlos Manuel Arriaga Jordan <cmarriagaj@uaemex.mx>

1 archivo adjunto (408 KB)

7024-31757-1-RV.pdf;

Tropical and Subtropical Agroecosystems
Dr. Felipe López González:

We have reached a decision regarding your submission to Tropical and Subtropical Agroecosystems, "Respuesta productiva de vacas alimentadas con la inclusión de ensilado de girasol-ebo como un cultivo complementario en sistemas de producción de leche en pequeña escala".

Our decision is to: Revision required

Dear Author

I am pleased to inform you that your manuscript will be accepted after the changes.

Please log in to your account and download the files containing the reviewers' comments.

Please make corrections as appropriate using the track changes tool of word.

Once you have the revised version, please upload the doc file into your account and notify the editor.

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

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

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

8.1.1. Resumen del artículo

Respuesta productiva de vacas alimentadas con la inclusión de ensilado de girasol-ebo como un cultivo complementario en sistemas de producción de leche en pequeña escala

Productive response of cows fed a diet including sunflower-ebo silage as a complementary crop in small-scale dairy systems

M. Angeles-González¹, M. Rosas-Dávila², M. N. Marín-Santana¹, J. I. Vega-García³, M. D. Celis-Alvarez¹, C. M. Arriaga-Jordán¹ and F. López-González^{1*}

Los sistemas de producción de leche en pequeña escala son fundamentales para la economía rural, aunque enfrentan problemas de rentabilidad, dependencia de insumos externos y efectos del cambio climático, especialmente la sequía. Ante ello, este estudio evaluó el uso de ensilado de girasol-ebo combinado con ensilado de maíz como alternativa alimenticia para vacas lecheras en los Valles Altos del Centro de México.

Metodología: se trabajó con seis vacas Holstein bajo tres tratamientos con diferentes proporciones de ensilado de maíz y ensilado de girasol-ebo. El experimento tuvo una duración de 42 días y se analizaron variables de composición química y desempeño productivo. **Resultados:** se mostraron diferencias únicamente en proteína cruda, mientras que en producción de leche, peso vivo y composición química de la leche no hubo diferencias significativas entre tratamientos. La producción promedio fue de 20.76 kg de leche/vaca/día. Se concluye que el uso de girasol y ebo como forrajes alternativos es una opción viable para los pequeños productores lecheros, ya que permite mantener la productividad del ganado y representa una alternativa más accesible frente a las limitaciones económicas y climáticas que afectan la producción de maíz.

IX. CONCLUSIÓN

Con base en los resultados obtenidos, se concluye que la inclusión de ensilado de girasol asociado con ebo en la alimentación de vacas lecheras en sistemas de producción de leche en pequeña escala constituye una alternativa viable frente al uso tradicional de ensilado de maíz, especialmente en condiciones de limitación hídrica y variabilidad climática. Los tratamientos evaluados mantuvieron niveles similares de producción de leche, peso vivo y composición química de la leche, lo que demuestra que el uso de estos forrajes alternativos no afecta negativamente el desempeño productivo de los animales.

Asimismo, los resultados permitieron comprobar que las dietas con mayor proporción de ensilado de girasol-ebo presentaron un mayor contenido de proteína cruda, lo que evidencia el aporte nutricional de la asociación entre oleaginosas y leguminosas. Esto confirma que el ebo contribuye a mejorar la calidad nutritiva del ensilado y fortalece su potencial como estrategia alimenticia sustentable para pequeños productores.

Se considera que los objetivos planteados fueron cumplidos de manera satisfactoria, ya que se logró evaluar la composición química y digestibilidad de los ensilados, así como la respuesta productiva de las vacas alimentadas con diferentes proporciones de ensilado de girasol-ebo y maíz. De igual forma, la hipótesis planteada se acepta parcialmente, debido a que no se encontraron diferencias significativas en variables productivas como producción y composición de leche, peso vivo y desempeño animal; sin embargo, sí se observaron diferencias en el contenido de proteína cruda de las dietas.

Finalmente, esta investigación aporta evidencia científica sobre el potencial del girasol y el ebo como cultivos complementarios en sistemas de producción de leche en pequeña escala, ofreciendo alternativas que pueden contribuir a disminuir la dependencia de insumos externos, reducir costos de alimentación y mejorar la sostenibilidad de las unidades de producción lechera del Altiplano Central de México.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anaya-Ortega, J.P., Garduño-Castro, G., Espinoza-Ortega, A., Rojo-Rubio, R., and Arriaga-Jordán, C.M. (2009). Silage from maize (*Zea mays*), annual ryegrass (*Lolium multiflorum*) or their mixture in the dry season feeding of grazing dairy cows in small-scale *campesino* dairy production systems in the Highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 41, 607 – 616.
- Ankom Technology (2020). Analytical methods and support. <http://www.ankom.com>. Accessed 25 oct 2022.
- Association of official Analytical Chemistry (AOAC). (1990). Official methods of analysis, Arlington, VA.
- Burbano-Muñoz, V. A., López-González, F., Estrada-Flores, J. G., Sainz-Sánchez, P. A., & Arriaga-Jordán, C. M. (2018). Oat silage for grazing dairy cows in small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. *African Journal of Range & Forage Science*, 35(1), 63-70. <https://doi.org/10.2989/10220119.2018.1473493>
- Camacho-Vera, J. H., Cervantes-Escoto, F., Palacios-Rangél, M. I., Rosales-Noriega, F., & Vargas-Canales, J. M. (2017). Factores determinantes del rendimiento en unidades de producción de lechería familiar. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(1), 23. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i1.4313>
- CANILEC. (2021). *Estadísticas del Sector Lácteo 2010-2020*. <https://www.canilec.org.mx/estadisticas-2/>
- Castejon, M., & Leaver, J. D. (1994). Intake and digestibility of urea-treated whole crop wheat and liveweight gain by dairy heifers. *Animal Feed Science and Technology*, 46(1-2), 119-130. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90070-1](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90070-1)
- Castro, N., Rufach, H., Capellino, F., Domínguez, R., & Paccapelo, H. (2011). *Evaluación del rendimiento de forraje y grano de triticales y tricepiros*. 37(3), 281-289.

- Celis-Álvarez, M. D., López-González, F., Estrada-Flores, J. G., Domínguez-Vara, I. A., Heredia-Nava, D., Munguía-Contreras, A., & Arriaga-Jordán, C. M. (2017). *In vitro nutritional evaluation of small-grain cereal forage for small-scale dairy systems*. 9.
- Chenost, M. (1996). *Optimizing the use of poor quality roughages through treatments and supplementation in warm climate countries with particular emphasis on urea treatment*. 71-92.
- Church, D. C. (1988). *The ruminant animal: Digestive physiology and nutrition*. Prentice-Hall.
- Coblentz, W. K., Akins, M. S., Kalscheur, K. F., Brink, G. E., & Cavadini, J. S. (2018). Effects of growth stage and growing degree day accumulations on triticale forages: 1. Dry matter yield, nutritive value, and in vitro dry matter disappearance. *Journal of Dairy Science*, 101(10), 8965-8985. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14868>
- Colín-Navarro, V., López-González, F., Morales-Almaráz, E., González-Alcántara, F. de J., Estrada-Flores, J. G., & Arriaga-Jordán, C. M. (2021). Fatty acid profile in milk of cows fed triticale silage in small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. *Journal of Applied Animal Research*, 49(1), 75-82. <https://doi.org/10.1080/09712119.2021.1884082>
- Conroy, C. (2004). *Participatory Livestock Research: A Guide*. Practical Action Publishing. <https://doi.org/10.3362/9781780440316>
- Cortiana-Tambara, A. A., Regiani-Sippert, M., Cardoso-Jauris, G., Carvalho-Flores, J. L., Henz, É. L., & Velho, J. P. (2017). Production and chemical composition of grasses and legumes cultivated in pure form, mixed or in consortium. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 39(3), 235. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v39i3.34661>
- CSIRO. 2007. Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia. 270 p.

- De Ruiter, J. M., Hanson, R., Hay, A. S., Armstrong, K. W., & Harrison-Kirk, R. D. (2002). Whole-crop cereals for grazing and silage: Balancing quality and quantity. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 181-189. <https://doi.org/10.33584/jnzg.2002.64.2456>
- Deschard, G., Mason, V. C., & Tetlow, R. M. (1988). Treatment of whole-crop cereals with alkali. 4. Voluntary intake and growth in steers given wheat ensiled with sodium hydroxide, urea or ammonia. *Animal Feed Science and Technology*, 19(1-2), 55-66. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(88\)90054-5](https://doi.org/10.1016/0377-8401(88)90054-5)
- Deschard, G., Tetlow, R. M., & Mason, V. C. (1987). Treatment of whole-crop cereals with alkali. 3. Voluntary intake and digestibility studies in sheep given immature wheat ensiled with sodium hydroxide, urea or ammonia. *Animal Feed Science and Technology*, 18(4), 283-293. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(87\)90036-8](https://doi.org/10.1016/0377-8401(87)90036-8)
- Elgersma, A. (2015). Grazing increases the unsaturated fatty acid concentration of milk from grass-fed cows: A review of the contributing factors, challenges and future perspectives: Effect of grazing on milk fatty acid composition. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 117(9), 1345-1369. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201400469>
- Ergon, Å., Kirwan, L., Bleken, M. A., Skjelvåg, A. O., Collins, R. P., & Rognli, O. A. (2016). Species interactions in a grassland mixture under low nitrogen fertilization and two cutting frequencies: 1. dry-matter yield and dynamics of species composition. *Grass and Forage Science*, 71(4), 667-682. <https://doi.org/10.1111/gfs.12250>
- Espinoza-Ortega, A., Espinosa-Ayala, E., Bastida-Lopez, J., Castañeda-Martinez, G., & 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. *ProQuest*. 43, 2, 241-256. <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 Smallholder Dairy Production

- Systems in the Highlands of Mexico During the Rainy Season. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 37(8), 882-901. <https://doi.org/10.1080/21683565.2013.775990>
- FAO, & FEPALE. (2012). *Situación de la Lechería en América Latina y el Caribe en 2011, Observatorio de la Cadena Lechera*. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, División de Producción y Sanidad Animal.
- FAO. (2016). *Producción y productos lácteos: Composición de la leche*. <http://www.fao.org/dairy-production-products/products/composicion-de-la-leche/es/>
- García-Martínez, A. (2001). Tratamiento de rastrojo de maíz con urea para la alimentación de vacas lecheras en sistemas de producción de leche en pequeña escala. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Givens, D. I., Moss, A. R., & Adamson, A. H. (1993). The digestion and energy value of whole crop wheat treated with urea. *Animal Feed Science and Technology*, 43(1-2), 51-64. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(93\)90142-7](https://doi.org/10.1016/0377-8401(93)90142-7)
- Gómez-Miranda, A., Estrada-Flores, J. G., Morales-Almaraz, E., López-González, F., Flores-Calvete, G., & Arriaga-Jordán, C. M. (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(2), 221-227. <https://doi.org/10.1139/cjas-2018-0237>
- Gómez-Miranda, A., Plata-Reyes, D., López González, F., Domínguez-Vara, I. A., Morales-Almaraz, E., & Arriaga-Jordán, C. M. (2021). Matua bromeagrass (*Bromus catharticus*) as a pasture resource for small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. *Journal of Livestock Science*, 12, 132-140. <https://doi.org/10.33259/JLivestSci.2021.132-140>
- González-Alcántara, F. de J., Estrada-Flores, J. G., Morales-Almaraz, E., López-González, F., Gómez-Miranda, A., Vega-García, J. I., & Arriaga-Jordán, C. M.

- (2020). Whole-crop triticale silage for dairy cows grazing perennial ryegrass (*Lolium perenne*) or tall fescue (*Lolium arundinaceum*) pastures in small-scale dairy systems during the dry season in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 52(4), 1903-1910. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02206-9>
- Haque, M. E., Waddington, S. R., Sarker, Z. I., Sarker, N. R., & Akteruzzaman, M. (2013). Production and Promotion of Triticale as a High Quality Fodder and Feed in Small-Scale Dairy Farmers of Bangladesh. *Progressive Agriculture*, 19(2), 217-228. <https://doi.org/10.3329/pa.v19i2.16964>
- Harker, K. N., O'Donovan, J. T., Blackshaw, R. E., Johnson, E. N., Holm, F. A., & Clayton, G. W. (2011). Environmental Effects on the Relative Competitive Ability of Canola and Small-Grain Cereals in a Direct-Seeded System. *Weed Science*, 59(3), 404-415. <https://doi.org/10.1614/WS-D-10-00121.1>
- Harper, M. T., Oh, J., Giallongo, F., Roth, G. W., & Hristov, A. N. (2017). Inclusion of wheat and triticale silage in the diet of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100(8), 6151-6163. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12553>
- Home n'dry. (2021). *Alkalage*. <https://www.homendry.com/alkalage>
- Hoogendoorn, C. J., Newton, P. C. D., Devantier, B. P., Rolle, B. A., Theobald, P. W., & Lloyd-West, C. M. (2016). Grazing intensity and micro-topographical effects on some nitrogen and carbon pools and fluxes in sheep-grazed hill country in New Zealand. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 217, 22-32. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.10.021>
- Hristov, A. N., Degaetano, A. T., Rotz, C. A., Hoberg, E., Skinner, R. H., Felix, T., Li, H., Patterson, P. H., Roth, G., Hall, M., Ott, T. L., Baumgard, L. H., Staniar, W., Hulet, R. M., Dell, C. J., Brito, A. F., & Hollinger, D. Y. (2018). Climate change effects on livestock in the Northeast US and strategies for adaptation. *Climatic Change*, 146(1-2), 33-45. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2023-z>

INEGI. (2009). *Prontuario de Información Geográfica Municipal*. 3, 9.

Khan NA, Yu P, Ali M, Cone JW, Hendriks WH. 2015. Nutritive value of maize silage in relation to dairy cow performance and milk quality. *Journal of the Science of food and Agriculture* 95: 238-255.

Kiangi, E. M. I., Kategile, J. A., & Sundstøl, F. (1981). Different sources of ammonia for improving the nutritive value of low quality roughages. *Animal Feed Science and Technology*, 6(4), 377-386. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(81\)90016-X](https://doi.org/10.1016/0377-8401(81)90016-X)

Krieg, J. (2017). *Ruminal degradation characteristics of barley, rye, and triticale grains assayed in situ and in vitro, and by nearinfrared spectroscopy*. University of Hohenheim.

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*, 47(2), 331-337. <https://doi.org/10.1007/s11250-014-0724-0>

McCarthy, K. M., McAloon, C. G., Lynch, M. B., Pierce, K. M., & Mulligan, F. J. (2020). Herb species inclusion in grazing swards for dairy cows—A systematic review and meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 103(2), 1416-1430. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17078>

Mellado, M. Z., Matus, I. T., & Madariaga, R. B. (2008). *Antecedentes sobre el triticale en Chile y otros países*. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/7244>

Mendoza-Elos, M., Cortez-Baheza, E., Rivera-Reyes, J. G., Rangel-Lucio, J. A., Andrio-Enríquez, E., & Cervantes-Ortiz, F. (2011). Data and planting density on the production and quality seed the triticale (X Triticosecale Wittmack). *Agronomía Mesoamericana*, 22(2), 309-316.

Miguel M F, Ribeiro-Filho H M, Andrade E A, Moraes Genro T C 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**: 1810–16.

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*, 53(1), 113. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02564-y>

Newton, A. C., Flavell, A. J., George, T. S., Leat, P., Mullholland, B., Ramsay, L., Revoredo-Giha, C., Russell, J., Steffenson, B. J., Swanston, J. S., Thomas, W. T. B., Waugh, R., White, P. J., & Bingham, I. J. (2011). Crops that feed the world 4. Barley: A resilient crop? Strengths and weaknesses in the context of food security. *Food Security*, 3(2), 141-178. <https://doi.org/10.1007/s12571-011-0126-3>

Nikkhah, A. (2012). Barley grain for ruminants: A global treasure or tragedy. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 3(1), 22. <https://doi.org/10.1186/2049-1891-3-22>

Orskov, E. R., Reid, G. W., Holland, S. M., Tait, C. A. G., & Lee, N. H. (1983). The feeding value for ruminants of straw and wholecrop barley and oats treated with anhydrous or aqueous ammonia or urea. *Animal Feed Science and Technology*, 8(4), 247-257. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(83\)90046-9](https://doi.org/10.1016/0377-8401(83)90046-9)

Palmquist, D., & Jenkins, T. (2004). Challenges with fats and fatty acid methods. *Journal of animal science*, 81, 3250-3254. <https://doi.org/10.2527/2003.81123250x>

Payne, T. S., Amri, A., Humeid, B., & Rukhkyan, N. (2008). *Regeneration Guidelines Small-grained cereals*. Global Crop Diversity Trust.

Pérez-Ramírez, E., Peyraud, J. L., & Delagarde, R. (2012). N-alkanes v. ytterbium/faecal index as two methods for estimating herbage intake of dairy cows fed on diets differing in the herbage: Maize silage ratio and feeding level. *Animal*, 6(2), 232-244. <https://doi.org/10.1017/S1751731111001480>

- Plata-Reyes, D. A., Morales-Almaraz, E., Martínez-García, C. G., Flores-Calvete, J. G., López-González, F., Prospero-Bernal, F., Valdez-Ruiz, C. L., Zamora-Juárez, Y. G., & Arriaga-Jordán, C. M. (2018). Milk production and fatty acid profile of dairy cows grazing four grass species pastures during the rainy season in small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 50(8), 1797-1805. <https://doi.org/10.1007/s11250-018-1621-8>
- 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 Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 49(7), 1537-1544. <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1360-2>
- Robles-Jiménez, L. E., Morales-Osorio, A., Gutierrez-Martinez, M. de G., Osorio-Avalos, J., Castelan-Ortega, O. A., & González-Ronquillo, M. (2018). Forage yield, chemical composition and in vitro gas production of triticale varieties (x Triticosecale Wittmack) preserved by silage or hay. *Acta Agronómica*, 67(3), 431-437. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n3.68127>
- Rodenburg. 2000. Body condition scoring for dairy cattle. Retrieved from <http://www.omafr.gov.on.ca/english/livestock/dairy/facts/00-109.htm>.
- Russell, J. B., & Wilson, D. B. (1996). Why Are Ruminant Cellulolytic Bacteria Unable to Digest Cellulose at Low pH? *Journal of Dairy Science*, 79(8), 1503-1509. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(96\)76510-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(96)76510-4)
- Sadeghpour, A., Jahanzad, E., Esmaeili, A., Hosseini, M. B., & 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>

SAGARPA. (2014). *Sistema de producción de leche en granjas bovinas familiares (Ficha técnica)*. <https://www.yumpu.com/es/document/read/15525183/sistema-de-produccion-de-leche-en-granjas-bovinas-sagarpa>

Sainz-Ramírez A, Botana A, Pereira-Crespo S, González-González L, Veiga M, Resch C, Valladares J, Arriaga-Jordán CM, Flores-Calvete G. 2020 effect of the cutting date and the use of additives on the chemical composition and fermentative quality of sunflower silage. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 11:620-637

Salami, S., Moran, C.A., Warren, H.E. and Taylor-Pickard, J., 2021. Meta-analysis and sustainability of feeding slow-release urea in dairy production. *Plos one*, 16(2) pp. 1-18.

Salcedo Díaz, G., Villar Bonet, A., Mier, M., & Doltra Bregón, J. (2018). Efecto de la combinación de triticale con trébol encarnado sobre la producción y composición de la leche de vacas en pastoreo. *Informacion Tecnica Economica Agraria*, 114(1). <https://doi.org/10.12706/itea.2018.003>

Salgado, P., Thang, V. Q., Thu, T. V., Trach, N. X., Cuong, V. C., Lecomte, P., & Richard, D. (2013). Oats (*Avena strigosa*) as winter forage for dairy cows in Vietnam: An on-farm study. *Tropical Animal Health and Production*, 45(2), 561-568. <https://doi.org/10.1007/s11250-012-0260-8>

Sánchez-Gutiérrez, R. A., Gutiérrez-Bañuelos, H., Serna-Pérez, A., Gutiérrez-Luna, R., & Espinoza-Canales, A. (2014). Producción y calidad de forraje de variedades de avena en condiciones de temporal en Zacatecas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 5(2), 131. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v5i2.3220>

Tan M, Yolcu H, dumlu gul Z. 2014. Nutritive value of sunflower silages ensiled with corn or alfalfa at different rate. *Animal Feed Science and Technology* 21: 184-191.

Tetlow, R. M., & Mason, V. C. (1987). Treatment of whole-crop cereals with alkali. 1. The influence of sodium hydroxide and ensiling on the chemical composition and in vitro digestibility of rye, barley and wheat crops harvested at increasing maturity

- and dry matter content. *Animal Feed Science and Technology*, 18(4), 257-269.
[https://doi.org/10.1016/0377-8401\(87\)90034-4](https://doi.org/10.1016/0377-8401(87)90034-4)
- Teuber, N. K., Navarro, H. D., Goic, L. M., & L, A. (2002). *La cebada, una interesante alternativa forrajera*. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/4020>
- Thornton, P. K., van de Steeg, J., Notenbaert, A., & 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(3), 113-127. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2009.05.002>
- Timm, L. C., Haygert-Velho, I. M. P., Bolke, D. R., Antunes, G. V., Alessio, D. R. M., & Velho, J. P. (2019). Ryegrass (*Lolium multiflorum*) BRS Ponteio and wheat (*Triticum aestivum*) BRS Tarumã pasture with different doses of ammonium sulfate as topdressing. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 41(1), 44026. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v41i1.44026>
- Van Soest P J, Robertson J B and Lewis B A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* **74**: 3583–97.
- Vieyra-Alberto, R., Vara, I. A., Castro-Hernandez, H., Arriaga-Jordán, C., & Morales-Almaraz, E. (2018). *Pasture access times and milk fatty acid profile of dairy cows from central highland of Mexico*. 9, 1-8.
- Weinberg ZG and Chen Y. 2013. Effects of storage period on the composition of whole crop wheat and corn silages. *Animal feed Science and Technology* 185, 196-200.
- Zamora Villa, V. M., Colín Rico, M., Torres Tapia, M. A., Rodríguez García, A., & Jaramillo Sánchez, M. A. (2016). Producción y valor nutritivo en fracciones de forraje de trigos imberbes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(2), 291-300.