



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RURALES

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

“MEZCLAS FORRAJERAS EN PASTOREO EN LAS ESTRATEGIAS DE ALIMENTACION
DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE EN PEQUEÑA ESCALA, DURANTE LA
TEMPORADA DE INVIERNO”

TESIS

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

PRESENTA:

GENARO PLATA PÉREZ



El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, Diciembre 2018



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RURALES

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

“MEZCLAS FORRAJERAS EN PASTOREO EN LAS ESTRATEGIAS DE ALIMENTACION
DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE EN PEQUEÑA ESCALA, DURANTE LA
TEMPORADA DE INVIERNO”

TESIS

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

PRESENTA:

GENARO PLATA PÉREZ

COMITÉ DE TUTORES:

Dr. Ernesto Sánchez Vera

Dr. Carlos Galdino Martínez García

Dr. Carlos Manuel Arriaga Jordán



El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. Diciembre de 2018

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue llevado a cabo gracias a la financiación de la Universidad Autónoma del Estado de México (subvención SIEA 1935/2011C).

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo con financiamiento al proyecto “Evaluación de la sustentabilidad de sistemas de producción de leche en pequeña escala” (subvención 129449 CB-2009).

Al CONACYT por la beca para realizar estudios de posgrado, de igual manera al Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales ICAR y a su equipo por el apoyo brindado para culminación de este trabajo.

A el Dr. Ernesto Sánchez Vera, en un principio por confiar en mi como alumno y como amigo, a pesar de no ser el estudiante modelo y tener la mala costumbre de complicar todo, gracias por su paciencia y su amistad.

Al Dr. Carlos Manuel Arriaga Jordán por el apoyo prestado durante todo el desarrollo de este trabajo, su conocimiento y la manera en la que lo comparte nos motivan a seguir sus pasos, extendiendo mi agradecimiento al equipo de SPLPE por haberme recibido con los brazos abiertos.

Al Dr. Carlos Galdino Martínez García por haberse hecho cargo de mi tutela durante dos semestres, por su guía y apoyo incondicional para la realización de este trabajo.

Al Dr. Felipe López González por su apoyo e instrucción en la realización de los análisis estadísticos presentados en este estudio.

A los técnicos y laboratoristas del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales por su y orientación en el uso de equipo necesario para los análisis de laboratorio.

Al Dr. Gonzalo Flores Calvete por su apoyo académico para la realización de la estancia de investigación en el Centro de Investigaciones Agrarias (CIAM), Mabegondo, Coruña, España.

A los productores que participaron y facilitaron el desarrollo del experimento, sus datos y privacidad son respetados al no hacer referencia a sus nombres.

DEDICATORIAS

Este trabajo está dedicado a mi familia, en primera estancia a mi hijo Emilio Jenaro Plata Vieyra, es mi motivación más grande para ser un mejor ser humano.

A mi esposa Mayra Carolina Vieyra Alberto por estar siempre a mi lado y apoyarme en los momentos más difíciles, quiero extender esta dedicatoria a mis suegros y cuñados que me han recibido como parte de su familia, con los brazos abiertos y con un gran apoyo en nuestros proyectos.

A mis padres por su apoyo incondicional durante toda mi vida y en particular mi vida académica, son una muestra de paciencia, perseverancia y cariño.

A mi hermano que comienza sus estudios profesionales, esperando poder apoyarlo en un camino de logros personales y académicos, sabes que siempre estaré para ti.

RESUMEN

Los sistemas de producción de leche en pequeña escala aportan aproximadamente el 37% de la producción nacional, sin embargo, los elevados costos que implica la alimentación de los animales en producción durante la temporada seca reducen la eficiencia económica de dichos sistemas. Es necesaria la búsqueda de forrajes que puedan ser cultivados en la temporada de estiaje con la finalidad de reducir costos y mantener la producción. Los cultivos en asociación pueden ser una opción viable para la producción de forrajes de calidad, existen variedades de cultivos a las cuales los productores tienen acceso y algunas que no se encuentran disponibles en la región y por lo tanto no se ha evaluado su rendimiento en cultivos en asociación o mezclas forrajeras. El propósito del estudio fue comparar el rendimiento y calidad de dos mezclas forrajeras (leguminosas, gramínea, cereal de grano pequeño) durante la temporada seca. Se utilizó un enfoque de investigación participativa rural. Las mezclas se clasificaron en disponibles y no disponibles en la región. Se evaluó la producción de forraje, composición botánica y química de las praderas mediante un diseño de parcelas divididas con 4 periodos experimentales de 14 días cada uno. Los efectos de las mezclas se evaluaron en pastoreo, se utilizaron 8 vacas multíparas encastadas con Holstein (462.4 ± 43.16 kg de peso vivo (PV), condición corporal (CC) de 3.37 ± 1 y rendimiento promedio de leche de 5.1 ± 1.7 kg/vaca/día y 135.2 ± 88.4 días en promedio de lactación). El diseño estadístico para las variables animales fue un diseño doble reversible, comparando las variables producción de leche y su composición, ganancia de peso, condición corporal. El diseño estadístico para las variables de los cultivos fue un diseño de parcelas divididas para las variables acumulación neta de forraje y composición botánica. Se encontró una interacción entre mezclas y periodos para la variable ANF ($P < 0.05$). No se encontraron diferencias para las variables animales ($P > 0.05$), mientras que los costos de alimentación para la mezcla alternativa fueron superiores a la mezcla convencional debido al elevado costo de las semillas, ambas mezclas obtuvieron un margen de ganancias positivo por lo tanto podrían ser estrategias viables para la producción de forraje durante la temporada de estiaje.

SUMMARY

Small-scale milk production systems contribute approximately 37% of the national production, however, the high costs involved in feeding the animals in production during the dry season reduces the economic efficiency of these systems. It is necessary to search for forages that can be cultivated in the dry season in order to reduce costs and maintain production. Associated crops can be a viable option for the production of quality fodder, there are varieties of crops to which producers have access and some that are not available in the region and therefore their crop yield has not been evaluated. in association or forage mixtures. The purpose of the study was to compare the yield and quality of two forage mixtures (legumes, grass, small grain cereal) during the dry season. A rural participatory research approach was used. The mixtures were classified as available and not available in the region. The production of forage, botanical composition and chemistry of the grasslands was evaluated through a design of divided plots with 4 experimental periods of 14 days each. The effects of the mixtures were evaluated in grazing, 8 multiparous cows were used with Holstein (462.4 ± 43.16 kg of live weight (PV), body condition (CC) of 3.37 ± 1 and average milk yield of 5.1 ± 1.7 kg / cow / day and 135.2 ± 88.4 days on average lactation). The statistical design for the animal variables was a double reversible design, comparing the variables milk production and its composition, weight gain, body condition. The statistical design for the crop variables was a design of divided plots for the variables net accumulation of forage and botanical composition. It was found that the alternative mixture had a higher production ($P > 0.05$) than the conventional mixture, however, there was an interaction for net accumulation of forage between the mixtures and the periods ($P < 0.05$). No differences were found for the animal variables ($P > 0.05$), while the feeding costs for the alternative mixture were higher than the conventional mixture due to the high cost of the seeds, both mixtures obtained a positive profit margin therefore they could be viable strategies to produce forage during the dry season.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1 Sistemas de producción agropecuaria.....	2
2.1.1 Sostenibilidad en los SPLPE	4
2.1.2 Investigación participativa rural	7
2.2 Forrajes	8
2.2.1 Base forrajera en producción de leche.....	8
2.2.2 Importancia de los forrajes de calidad	9
2.3 Mezclas forrajeras.....	10
2.3.1 Asociaciones de leguminosas del género vicia.....	11
2.3.2 Forrajes disponibles	13
2.3.3 Forrajes no disponibles.....	15
III. JUSTIFICACIÓN.....	17
IV. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	19
V. HIPÓTESIS	20
VI. OBJETIVOS.....	21
VII. MATERIAL Y MÉTODOS.....	22
7.1 Límite de espacio.....	22
7.2 Límite de tiempo.....	23
7.3 Material biológico	23
7.4 Establecimiento de los cultivos	24

7.5 Manejo del pastoreo.....	25
7.6 Variables a medir.....	25
7.7 Desarrollo del experimento	27
7.8 Tratamientos	28
7.9 Análisis estadísticos.....	29
VIII. RESULTADOS	31
8.1 Oficio de confirmación de envío del artículo científico	31
8.2 Artículo enviado al African Journal of Range & Forage Science	32
8.3 ESTANCIA DE INVESTIGACIÓN CIAM	54
IX. CONCLUSIONES	59
X. LITERATURA CITADA	61
XI. ANEXOS.....	68

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Elementos de la evaluación de sostenibilidad del método IDEA.	5
Cuadro 2 Rendimiento (ton/ha), composición química (g/Kg MS) reportada de veza común en asociación con triticale, veza común y veza de invierno.	13
Cuadro 3 Fecha de periodos experimentales por secuencia de tratamiento	28
Cuadro 4 Composición de la dieta componentes de las mezclas en pastoreo y concentrado.	28
Cuadro 5 Rendimiento de leche por vaca por periodo experimental	68
Cuadro 6 Peso por vaca y periodo experimental	69
Cuadro 7 Condición corporal por vaca por periodo.	70
Cuadro 8 Composición química de la leche por periodo por vaca.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del Municipio de Aculco, Estado de México, México.	22
--	----

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción agropecuaria alrededor del mundo, principalmente en los países en desarrollo se ven forzados a incrementar su producción debido a la demanda alimentaria en aumento, sin embargo, es necesaria la implementación de estrategias sostenibles (FAO, 2017). En México, los pequeños sistemas contribuyen con aproximadamente el 37% de la producción de leche, son una opción productiva y una alternativa económica para los pequeños productores ubicados principalmente en zonas rurales (Martínez-García *et al.* 2015). Dichos sistemas generan autoempleo con el uso de mano de obra familiar además de ingresos por la venta de leche. Los costos de alimentación son elevados, principalmente por los insumos externos que utilizan los productores, por lo tanto, afectan la rentabilidad y sustentabilidad de los sistemas (Prospero-Bernal *et al.* 2017).

La estrategia más económica para la alimentación de rumiantes es el pastoreo (Prospero-Bernal *et al.* 2017). Existen diversos factores que restringen los cultivos a ciertas temporadas del año, lo que conlleva a los productores a el uso de estrategias para reducir costos de alimentación manteniendo la producción (Celis-Álvarez *et al.* 2016). El uso de forrajes en asociación ha demostrado tener rendimientos y calidad adecuados (Mousavi *et al.* 2011), en el altiplano central de México. Se han evaluado variedades a las cuales los productores tienen acceso, sin embargo, existen variedades alternativas a las cuales los productores no tienen acceso.

En el presente trabajo se evaluó el rendimiento forrajero, composición química y resultados productivos de dos mezclas forrajeras conformadas por pratenses, cereales de grano pequeño y leguminosas (*Vicias*), como una alternativa productiva a las condiciones que limitan los cultivos comunes en los periodos de otoño- invierno. Esto, con la finalidad de identificar en las mezclas forrajeras su rendimiento, composición botánica y composición química, así como sus efectos en pastoreo, el rendimiento animal en sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Sistemas de producción agropecuaria

Los Sistemas Agropecuarios (SA) en el mundo se encuentran en constante adaptación a los cambios en su entorno. Uno de los principales retos que deberán enfrentar es la creciente demanda de alimentos como consecuencia del aumento de la población, que se estima para 2050 alcanzara los 9 500 millones de personas (FAO, 2017). Por lo tanto, es necesario incrementar la eficiencia productiva con un enfoque que sea económicamente viable, socialmente equitativo y ambientalmente racional (Vilain *et al.* 2008).

Los sistemas en pequeña escala son los más abundantes en el mundo, aproximadamente el 85% de las explotaciones agrícolas de este tipo cuentan con menos de 2 ha de superficie y en los países en vías de desarrollo se encuentran rezagados tecnológicamente, con bajas perspectivas de industrialización y con limitaciones económicas (FAO, 2017).

El factor económico impacta negativamente sobre la eficiencia de los sistemas en pequeña escala, principalmente por los costos de producción elevados, la compra de insumos externos a las unidades, el limitado acceso del productor en pequeña escala a los mercados globales y a nuevas tecnologías (FAO, 2017). Sin embargo, aun con todas las limitaciones los sistemas agropecuarios contribuyen a la erradicación de la pobreza extrema principalmente en zonas rurales (FAO, 2001).

La intensificación productiva y la aplicación de innovaciones tecnológicas en los sistemas agropecuarios contribuye a la erradicación de la pobreza en zonas rurales, generando ganancias económicas a los productores además de incrementar una permanencia en el sector productivo primario que garantice la producción de alimentos en el futuro (FAO, 2001).

En México, el sector agropecuario contribuye con alrededor del 10% del PIB vinculando el aumento de la productividad con un aumento significativo en los ingresos de los productores rurales (Hernández-Laos, 2000). De acuerdo con SAGARPA (2016), México ocupa el tercer lugar en producción Agropecuaria en América Latina y lugar 12 en el mundo. El sector

lechero ocupa el tercer lugar en los aportes al PIB del sector agroalimentario con una producción de alrededor de 11 808 millones de litros de leche en 2017, la cual es insuficiente para el consumo nacional, como consecuencia México se convirtió el sexto importador de leche en polvo del mundo (SAGARPA, 2016).

En México, se distinguen tres tipos de sistemas de producción de leche especializados, los sistemas a gran escala distribuidos en el centro y norte del país, sistemas de producción lecheros y de doble propósito ubicados en regiones tropicales (costas) y los sistemas en pequeña escala ubicados en el altiplano central del país (Espinoza-Ortega *et al.* 2007). Los SPLPE representan aproximadamente el 78% de los sistemas especializados en producción de leche aportando alrededor del 37% de la producción del país (Martínez-García *et al.* 2015). Están caracterizados por hatos de entre 3 y 35 vacas más remplazos, cuentan y dependen principalmente de mano de obra familiar para sus operaciones y se caracterizan por tener pequeñas superficies de tierra (menos de 10 ha) (Fadul-Pacheco *et al.* 2013; Martínez-García *et al.* 2015).

En el altiplano Central de México los costos de alimentación en SPLPE representan alrededor del 70% de los costos de producción totales de los cuales el 90% representan la compra de concentrados (Martínez-García *et al.* 2015). Los concentrados se utilizan durante todo el año con un marcado aumento durante la temporada de seca (noviembre- abril) (Celis-Álvarez *et al.* 2016). Durante la temporada de lluvias la alimentación de los hatos se caracteriza principalmente por corte y acarreo de forrajes, además de la complementación con concentrados comerciales. En promedio la producción es de 13.9 litros de leche vaca día⁻¹ de los cuales el 82% se utiliza para la fabricación de quesos tradicionales (Espinoza-Ortega *et al.* 2007; Fadul Pacheco *et al.* 2013).

Los SPLPE son una opción productiva y económica para los productores y sus familias. Espinoza-Ortega *et al.* (2007), encontraron que en el altiplano central de México es posible para los sistemas con mayor incorporación de tecnologías y asesorías técnicas aumentar su rentabilidad económica. Por lo tanto, pueden estar por encima de los indicadores de pobreza alimentaria, de capacidades y patrimonial. Los ingresos provienen de la venta de leche diariamente para su transformación en queso, además de la generación de autoempleo, la

percepción de ingresos reduce la pobreza contribuyendo de esa forma a la reducción de la migración de zonas rurales a urbanas en busca de empleos.

Los SPLPE se adaptan a las características agro-ecológicas y socio-económicas de cada región, en el altiplano central de México los sistemas se encuentran en una región de clima templado y se enfrentan a heladas de octubre a principios de marzo, una altitud elevada (2200-2600 msnm), lluvias de temporal (durante verano y otoño se concentra el 80% de las lluvias), lo cual reduce los periodos en los cuales se pueden producir forrajes (Garduño-Castro *et al.* 2009). La temporalidad en la cual se pueden producir los forrajes tiene un impacto directo sobre la disponibilidad de forraje de calidad para la alimentación de los hatos lecheros, como consecuencia se ve afectada la eficiencia productiva y la rentabilidad.

2.1.1 Sostenibilidad en los SPLPE

El concepto de sostenibilidad comenzó a utilizarse en 1987 en la comisión mundial de medio ambiente y desarrollo, Prospero-Bernal *et al.* (2015) conceptualiza el desarrollo sostenible como “...*todo aquel que es capaz de satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades del mismo medio en el cual se encuentran...*”. Algunos trabajos previos que han evaluado la sostenibilidad de los SPLPE utilizando el método IDEA (Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles), desarrollado en Francia ofrece de forma práctica el concepto de sostenibilidad. Es un método validado en más de 1500 unidades productivas, evalúa simultáneamente la sostenibilidad económica, social y ambiental (Vilain *et al.* 2008).

El método IDEA utiliza 3 escalas: agroecológica, socio territorial, y económica. Las escalas se distribuyen en 10 componentes, la escala territorial y agroecológica con 3 cada una y la escala económica con 4. Los componentes están formados por entre 1-7 indicadores resultando en un total de 42 indicadores. Cada indicador recibe un valor numérico y la suma de obtenida de los componentes se encuentra en un rango de 0-100, los valores más altos reflejan mayor sostenibilidad. La escala con los valores más bajos define la sostenibilidad de los sistemas de producción (Fadul-Pacheco *et al.* 2013) (Cuadro 1).

Cuadro 1 Elementos de la evaluación de sostenibilidad del método IDEA.

Escala de sostenibilidad	Componentes	Puntuación máxima de indicadores
Escala agroecológica	Biodiversidad agro-cultural	33
	Organización del espacio agro cultural	33
	Prácticas agro culturales	34
Escala socio territorial	Calidad de los productos y área de origen	33
	Organización socioeconómica del espacio	33
	Ética y desarrollo humano	34
Escala socioeconómica	Viabilidad económica	30
	Independencia financiera	25
	Transmisibilidad económica	20
	Eficiencia económica	25

Fuente: Vilain *et al.* (2008)

Los resultados en las evaluaciones de los SPLPE indican que sus fortalezas se encuentran en la escala agroecológica, debido a que realizan un adecuado aprovechamiento de los recursos forrajeros que tienen disponibles, de tal manera que el aumento en la producción y calidad del forraje tiene un impacto positivo en la eficiencia productiva (Fadul-Pacheco *et al.* 2013; Prospero-Bernal *et al.* 2017). En la evaluación de la sustentabilidad de los SPLPE en el municipio de Aculco, Fadul-Pacheco *et al.* (2013) encontraron que la escala socioeconómica presentó el menor puntaje, por lo tanto, es la escala que limita la sostenibilidad de dichos sistemas, los principales aspectos que afectan a la rentabilidad derivan de los costos de alimentación elevados hasta el 60-70% de los costos, uso elevado de insumos externos y la falta de capacitación a los productores (Lüscher *et al.* 2014; Martínez-García *et al.* 2015; Prospero-Bernal *et al.* 2015).

Los SPLPE tienen posibilidades de mejorar, con el desarrollo de estrategias que aumenten la eficiencia económica principalmente con la incorporación de tecnologías, producción y conservación de forrajes de calidad, con la finalidad de reducir la dependencia de insumos externos (Fadul-Pacheco *et al.* 2013). El altiplano central de México tiene dos temporadas marcadas lluvias (mayo-octubre) y una temporada de seca (noviembre-abril), la temporada de seca coincide la época invernal en el hemisferio norte (21 de diciembre-20 de marzo) (Martínez-García *et al.* 2015; Celis-Álvarez *et al.* 2016). Durante la temporada de invierno

en el altiplano central disminuye la precipitación con la consecuente baja en el nivel de los ríos (estiaje).

La disminución de la cantidad de agua disponible reduce el crecimiento de los forrajes durante la temporada de invierno, algunos productores cuentan con riego lo cual posibilita el cultivo de algunas especies de cereales comúnmente avena, cebada y trigo para ser suministradas como paja o heno, además del uso de ensilados en menor medida y la complementación se basa principalmente en aumentar la cantidad de concentrados comerciales, lo cual incrementa los costos de producción (Martínez-García *et al.* 2015; Celis-Álvarez *et al.* 2016).

Encontrar cuales son los cultivos que se adaptan de mejor manera a las condiciones locales es necesario, la investigación participativa facilita la realización de estudios con la participación de los productores y evaluar estrategias en las condiciones a las que se enfrentan los productores.

2.1.2 Investigación participativa rural

La investigación participativa es un método de investigación que se utiliza en escenarios complejos en los cuales la metodología experimental no tiene los resultados esperados. Este método se basa en la participación social en el desarrollo de la investigación y las estrategias necesarias para la obtención de conocimientos involucrando a los actores principales y las condiciones agroecológicas y sociales específicas para cada sistema (Ocampo *et al.* 2011; Njarui *et al.* 2016).

En los SPLPE, estudios previos han utilizado el enfoque de investigación participativa, sin embargo, es importante mencionar que en los estudios realizados desde este enfoque se diferencian de los experimentos en campos experimentales, en los cuales es posible obtener rigor científico mediante el control de variables. Por lo tanto, obtener resultados estadísticamente satisfactorios y que son acordes a los estrictos procedimientos analíticos es tarea difícil (Arriaga-Jordán *et al.* 2001). Por otro lado, en los trabajos experimentales desarrollados con productores a nivel de campo y con el acompañamiento de los mismos, la relevancia es el obtener resultados y conocimiento que pueda transferirse y sea útil en términos prácticos.

Las herramientas y tecnología se deben adaptar a los recursos disponibles y las condiciones específicas de cada región (Arriaga-Jordán *et al.* 2001; Conroy, 2005; Ocampo *et al.* 2011). Lo anterior concuerda con lo discutido por Arriaga-Jordán *et al.* (2001) quienes mencionan sobre la investigación participativa que:

“...la evaluación de los experimentos a nivel de finca tiene relativamente el mismo peso que los análisis estadísticos los diseños experimentales deben por lo tanto adaptarse a las condiciones locales de los productores, tiempo y recursos disponibles y no de otra forma...”

2.2 Forrajes

2.2.1 Base forrajera en producción de leche

En los SPLPE los productores recurren a forrajes cultivados que comúnmente son de periodo largo como maíz (*Zea mays*), siendo el principal cultivo en estos sistemas se relaciona directamente con la alimentación de los hatos en la región (Arriaga-Jordán *et al.* 2001; López-González *et al.* 2017), aprovechando esquilmos de cosecha, esta reducción en la calidad de la dieta impacta en la producción de leche en los hatos y la sostenibilidad de los sistemas de producción, por lo tanto, en los SPLPE los propietarios optan por implementar estrategias para obtener forrajes durante las temporadas de invierno para la alimentación de los hatos (Garduño-Castro *et al.* 2009; Flores-Nájera *et al.* 2016).

En los SPLPE el aprovechamiento de pastizales nativos es una estrategia común, sin embargo, la producción de forraje en la vegetación nativa no es constante debido a que reduce su producción durante la temporada seca (Lüscher *et al.* 2014; Sainz-Sánchez *et al.* 2017; Mwendia *et al.* 2017). El pastoreo es considerado la estrategia para alimentación del ganado lechero de más bajo costo, sin embargo, los forrajes que se producen en las épocas de lluvias se consumen en esta época, como consecuencia durante los meses de noviembre a mayo existe una escasez de forraje y los productores adecuan sus estrategias a las condiciones descritas (Fadul-Pacheco *et al.* 2013).

En estudios previos en el centro del país en SPLPE, se ha encontrado que existen dos estrategias de alimentación diferenciadas, durante la temporada con lluvias la alimentación de los hatos se basa en corte y acarreo de pastos y suplementación con concentrados comerciales entre otros insumos externos comprados comúnmente forrajes (heno, paja, granos de cereales), además de pastoreo. Durante la temporada seca la alimentación se basa en esquilmos de maíz (sobrantes de cosechas), alimentos compuestos e insumos externos como alfalfa, paja de avena (Fadul-Pacheco *et al.* 2013; Martínez-García *et al.* 2015).

2.2.2 Importancia de los forrajes de calidad

Los SPLPE requieren estrategias de alimentación alternativas, con bajos costos de producción, de calidad adecuada y que pueda mantener la producción de leche constante durante el ciclo productivo, en los últimos años se han implementado en México el uso de ensilados de maíz y el pastoreo continuo intensivo como opciones viables (López-González *et al.* 2017; Prospero-Bernal *et al.* 2017). Bajo las condiciones de manejo y producción de leche en los SPLPE el pastoreo intensivo de praderas es una opción factible para mejorar la eficiencia productiva de los hatos (Arriaga-Jordán *et al.* 2001; Fadul-Pacheco *et al.* 2013; Prospero-Bernal *et al.* 2017).

El pastoreo continuo intensivo como estrategia de alimentación ha demostrado su potencial para reducir los costos de producción (Lüscher *et al.* 2014; Prospero-Bernal *et al.* 2017). Sin embargo, la selección de los cultivos juega un papel importante debido a que deben de adaptarse a las condiciones de la región y a las características y recursos con los que cuentan los productores. Algunas estrategias previamente evaluadas incorporan leguminosas en asociación con gramíneas o cereales como alternativas forrajeras (Garduño-Castro *et al.* 2009; Hernández-Ortega *et al.* 2011; Celis-Álvarez *et al.* 2017; Mwendia *et al.* 2018).

Los cultivos con especies en asociación se encuentran ampliamente distribuidos en todo el mundo, ofreciendo ventajas sobre los monocultivos. Las ventajas del uso de asociación de cultivos han sido reportadas por distintos autores, algunas de ellas son: un aumento en la producción de forraje, funcionan como cultivos de cobertura para establecer praderas cultivadas reduciendo la erosión de los terrenos de cultivo, es factible su ensilado posibilitado su conservación, uso e integración en la alimentación de los hatos y con la inclusión de leguminosas aumenta la calidad por su elevado contenido proteico (Celis- Álvarez *et al.* 2016; Mwendia *et al.* 2018).

Las leguminosas también se pueden establecer con gramíneas perenes o anuales, con la finalidad de producir forraje durante los periodos de latencia de la hierba, incrementando el rendimiento total de forraje, además de extender la temporada de cultivo (Hernández-Ortega *et al.* 2011).

En el altiplano central de México la asociación entre Ryegrass inglés (*Lolium perenne*) y Trébol blanco (*Trifolium repens*) es utilizada para la alimentación de hatos mediante corte y acarreo principalmente, en menor medida pastoreo y ensilado (Prospero-Bernal *et al.* 2015), sin embargo, existen variedades de especies que podrían maximizar el rendimiento de forraje y su calidad (Garduño-Castro *et al.* 2009; Hernández-Ortega *et al.* 2011).

El cultivo en México de la especie *Vicia L.* y específicamente de algunas de sus variedades como veza común (*Vicia sativa L.*) y veza de invierno (*Vicia villosa L.*) es una nueva alternativa, generalmente en asociación con avena (*Avena sativa L.*) o triticale (*X. Triticosecale Wittmack*), especies que se cultivan durante la temporada de invierno y comienzos de primavera (Celis-Álvarez *et al.* 2016).

Las características de las especies forrajeras pueden ser utilizadas para mejorar la calidad de los forrajes y su producción en temporadas en las cuales los monocultivos y las variedades comunes reducen su crecimiento. Con el aumento en la cantidad y calidad de los forrajes disponibles durante la temporada de invierno se podrían reducir las grandes cantidades de concentrados suministrados por los productores, existen especies que no se han evaluado en la región (alternativas) principalmente porque son de acceso limitado, por lo tanto, se desconoce su producción de forraje y su impacto en la producción de leche (Martínez-García *et al.* 2015).

2.3 Mezclas forrajeras

Por las características de adaptación las asociaciones de cereales de grano pequeño o gramíneas con veza común o veza de invierno pueden ser aprovechadas como una alternativa para mejorar la calidad en la alimentación de los hatos, ya sea suplementado como heno o ensilado (Garduño-Castro *et al.* 2009; Lithourgidis *et al.* 2017), sin embargo, en los SPLPE del altiplano central de México no se han reportado estudios que evalúen mezclas forrajeras, los estudios se limitan a forrajes en asociación de dos especies generalmente cereales de grano pequeño (avena o triticale) o una gramínea pratense más una especie leguminosa (Lemus-Ramírez *et al.* 2002).

La evaluación de especies forrajeras permite identificar aquellas que se adapten a la región y puedan ser producidas tanto en condiciones de temporal como de riego, así como la repuesta animal al suplementarse a la dieta de animales en producción (Garduño-Castro *et al.* 2009; Flores-Nájera *et al.* 2016; Lithourgidis *et al.* 2017).

Los factores que intervienen en el establecimiento y rendimiento de los cultivos en asociación comienzan con la selección de las especies y la calidad de las semillas (Lemus-Ramírez *et al.* 2002), además de las condiciones climáticas de la región (horas luz, época de siembra, temperatura, precipitación), por lo tanto, es necesario la evaluación de las especies alternativas y las fechas de siembra óptima para cada zona (Bobadilla *et al.* 2013; Lüscher *et al.* 2014).

Existen especies alternativas que no son cultivadas por los productores por su disponibilidad. Al no ser cultivadas por los productores no se tiene información de su desempeño en la región del altiplano central de México, ya sea solas o en mezclas forrajeras (Ergon *et al.* 2016).

2.3.1 Asociaciones de leguminosas del género vicia

Algunas características para seleccionar leguminosas del género de Vicia son adaptabilidad a distintos climas desde áridos hasta templados por lo cual es posible su cultivo en el Altiplano central de México, en evaluaciones realizadas en México se encontró buena resistencia a las bajas temperaturas, por lo que esta especie es una alternativa para producir forraje bajo riego en el periodo invernal (Garrigós *et al.* 2004; Flores-Ortiz *et al.* 2007).

En México la resistencia al invierno de *veza sativa* ha sido documentado por Flores Ortiz *et al.* (2007) quienes encontraron en Zacatecas, México la supervivencia del cultivo a cuatro días consecutivos de temperaturas bajo cero de -2.8 a -8.6°C y posteriormente a mediados del mes de enero tolero dos días con temperaturas de -12.0 °C (heladas) alcanzando el punto de congelación sin presentarse mortalidad o daños del follaje. La veza común presenta además una muy buena adaptación a las condiciones edáficas pudiendo ser cultivada en suelos con ph entre 5.5- 8.2, factor limitante para otras especies de leguminosas como *Merdicago sativa*.

El rendimiento y la calidad de forraje bajo condiciones de temporal ha sido evaluado en México encontrando rendimientos de hasta 8.5 ton/ha de materia seca, concluyendo que la alta productividad de materia seca es una alternativa más para producir forraje en invierno (Garduño-Castro *et al.* 2009; Flores-Nájera *et al.* 2016).

La biomasa ha sido descrita por Garrigós *et al.* (2004) encontrando que el mayor aporte a la biomasa correspondió a hojas 60% y el 40% tallos, esta distribución de biomasa hace que veza común sea un forraje excelente porque son las hojas el componente de mayor calidad.

Distintos autores han analizado la composición química de veza común y veza de invierno como se muestra en el Cuadro 2. El forraje puede alcanzar hasta 230 g kg MS de PC, además de valores bajos de fibra detergente ácido producen que la digestibilidad de la materia seca sea alta de 64.5% a 70.1%, y el bajo contenido de fibra detergente neutro mejora el consumo potencial de materia seca, ya que esta clase de fibra contiene la celulosa, hemi-celulosa, lignina y sílice que constituyen la fracción insoluble de la célula y afectan negativamente el consumo de forraje por el animal.

Un factor restrictivo para el uso de las vicias en otras especies es que contienen numerosos factores anti nutricionales, en particular las semillas de la veza común contienen aminoácidos (β -cyanoalanina y γ -glutamil- β -cyanoalanina) que producen problemas neurológicos tóxicos para los animales monogástricos (FAOa, 2016; FAOb, 2016; FEDNA, 2018).

Cuadro 2 Rendimiento (ton/ha), composición química (g/Kg MS) reportada de veza común en asociación con triticale, veza común y veza de invierno.

Fuente	Especie	Variedad	RD	MS	MO	CP	NDF	ADF	LAD
Flores-Najera		SEL 2025				227	326	241	
<i>et al.</i> (2007)	Veza	TESTIGO				218	334	287	
	común	SEL 2656				217	333	295	
		SEL 2627				216	360	314	
FAOa, (2016)		Veza	6.0	193		230	367	285	6.1
		común							
FAOb, (2016)	Veza de	veza villosa		203		230	374	296	5.5
	invierno								

RD, rendimiento (Toneladas/hectárea), MS, Materia seca; MO, Materia orgánica; CP, Proteína cruda; FDN, Fibra detergente neutro, FDA, Fibra detergente ácido, LAD, Lignina. gr kg MS Fuente elaboración propia.

Se mejora de la calidad de los suelos mediante leguminosas, las cuales pueden aumentar la fijación de nitrógeno en el suelo y la disponibilidad de N, P y S por la mayor formación de compuestos orgánicos lábiles mejorando las propiedades químicas del suelo en el suelo mediante un proceso simbiótico con bacterias del género *Rhizobium*, aumentando la fertilidad y rehabilitando de esa forma suelos degradados (Haffani *et al.* 2014; Lüscher *et al.* 2014).

Utilizados como cultivos de cobertura protegen las áreas de cultivo de la erosión y la invasión de las malas hierbas además de proporcionar forraje temprano o un ensilaje cortado para la estación seca (Garduño-Castro *et al.* 2009; Lüscher *et al.* 2014).

2.3.2 Forrajes disponibles

Avena chihuahua

Variedad forrajera, liberada en México por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) en 1967. Es un cultivo rústico con un amplio rango de adaptación climática, se puede cultivar en altitudes de 1,500 msnm en zonas tropicales y de 1,000 a 3,000 msnm en zonas templadas al ser de ciclo tardío alcanza la madurez fisiológica entre los 95-110 días. Los

rangos de precipitación para su cultivo van desde los 300 mm hasta los 800 mm, mientras que se desarrolla entre 5 a 30 °C (Ramírez-Ordoñez *et al.* 2013; Sánchez-Gutiérrez *et al.* 2014). Es una variedad productora de grano y forraje para la alimentación de animales en pastoreo, heno o ensilado, alcanzando rendimientos de entre 5.0- 6.0 ton MS ha (Olivo *et al.* 2016), por lo cual ocupa el tercer lugar en producción de los cultivos forrajeros en el país (Bobadilla *et al.* 2013; Ramírez-Ordoñez *et al.* 2013).

Ryegrass italiano var. Western Wold

Es una especie nativa de Europa y Norte de África. Está ampliamente distribuida a través del mundo, su principal característica es ser una planta bianual por lo cual es una de las especies utilizada para establecer praderas de corta duración. Su velocidad de establecimiento es mayor que otras gramíneas, pudiendo aprovecharse a los 70 días de siembra en pastoreo, además se puede utilizar para producción de forraje invernal. Puede alcanzar rendimientos de entre 8 - 14 ton MS ha reduciendo su producción entre cortes a 4 - 6 ton de MS ha en un segundo corte, el rango de proteína se encuentra entre 145-180 gr kg MS; la fibra cruda de 218 a 238 gr kg MS, energía metabolizable 2.11 a 2.17 Mcal kg MS con digestibilidades de 780 gr kg MS, la esta variedad se caracteriza por acumular carbohidratos no estructurales, principalmente, en la primavera y verano (Monsivais, 2013; López-González *et al.* 2017).

Vicia sativa

Originaria del sudeste de Europa, norte de África y oeste de Asia. De áreas semiáridas, con rangos de precipitación de 200-400 mm, sin embargo, se adapta adecuadamente a climas templados, se cultiva comúnmente en las regiones templadas con altitudes entre 2,250 a 3,000 msnm (FAOa, 2016). Se establece en suelos tipo arcilloso fino y suelos arcillo, tolera pH bajo, desarrollándose de manera óptima en ph de 6.5. La madurez de la veza se alcanza a los 167 días después de la siembra en condiciones semiáridas Al Masri, (1998).

2.3.3 Forrajes no disponibles

Avena strigosa var. Saia

Es variedad proveniente de Brasil en 1964 y se introdujo a México. Caracterizada por pertenecer a la especie *Avena strigosa*, su rendimiento en la producción de grano es bajo, pero se compensa con su excelente producción de forraje. Se considera un cultivo emergente en las tierras altas de México (Hidalgo, Tlaxcala, Distrito Federal, Estado de México), produce un forraje de elevado valor nutricional (Sánchez-Gutiérrez *et al.* 2014).

Es una variedad de ciclo tardío alcanzado la madurez entre 130-160 días post siembra, es de porte alto 120-170 cm presenta amacollamiento y rebrote. En México es la especie más utilizada en zonas de clima templados, se siembra tanto en otoño como en primavera. En un estudio realizado en Guanajuato, México su rendimiento supero a las variedades Karma y Chihuahua en condiciones de temporal (Sánchez-Gutiérrez *et al.* 2014).

Festulolium var Spring green

Es una especie híbrida obtenida a partir de plantas pertenecientes al género *Festuca* y plantas del género *Lolium*. La finalidad de la mezcla fue obtener la rusticidad de la *Festuca* y la calidad y rendimiento de *Lolium*. Tiene capacidad de amacollar y adaptarse a diversos climas. Es un pasto que se desarrolla mejor en climas fríos, soporta mejor el estrés hídrico que las variedades de Ryegrass italiano además de ser superior en su velocidad de establecimiento y persistencia. Por otro lado, es poco tolerante a el exceso de agua y a las temperaturas (Monsivais, 2013; López-González *et al.* 2017).

Veza de invierno

Originaria del sur de Europa ubicándose principalmente en la Cuenca Mediterránea y Asia Occidental. Se encuentra distribuida en la mayoría de las en zonas templadas de todo el mundo en distintos tipos de suelos. Su establecimiento es reducido en suelos ácidos o salinos, sin embargo, son más resistentes a la acides en suelo que muchas otras leguminosas forrajeras ya puede establecerse en ph de entre 6- 7.5 (FAOb, 2016). Su crecimiento es vertical por lo

cual su cultivo es asociado con cereales (avena, cebada, trigo en el área mediterránea). Tiene una resistencia a bajas temperaturas mayor que veza común y su tolerancia a la sequía es mínima en etapas tempranas y aumenta conforme se desarrolla el cultivo (Haffani *et al.* 2014; Flores-Nájera *et al.* 2016).

Los atributos presentes en veza común y veza de invierno (alto valor nutritivo, son muy aceptadas por las diferentes especies animal, se adaptan a distintos tipos de suelo, tienen tolerancia a bajas temperatura, es factible su conservación como ensilado o henificado hacen de estas especies una alternativa como cultivos.

III. JUSTIFICACIÓN

La población mundial se incrementará alrededor de un 25% entre el año 2015 y 2030, como consecuencia, aumentará la demanda de alimentos entre ellos los de origen animal. Sin embargo, alrededor del mundo existen países con sistemas de producción en pequeña escala que han quedado al margen de la tecnificación y desarrollo (FAO, 2017; Mwendia *et al.* 2018). En México, el 78% de sistemas de producción de leche especializados son en pequeña escala (SPLPE). Los SPLPE contribuyen entre 30 y 40% de la producción de leche en México, siendo una opción para el desarrollo rural, mediante la generación de empleos, además de ingresos económicos por la venta de leche contribuyendo a la reducción de la pobreza (Anaya-Ortega *et al.* 2009; Prospero-Bernal *et al.* 2017).

Los estudios de sustentabilidad en realizados en altiplano central de México describen los principales factores limitantes para los SPLPE, principalmente la escala económica se ve afectada por la reducción en la producción de forraje durante la temporada seca como consecuencia los productores recurren a insumos externos como concentrados que reducen su rentabilidad (Lüscher *et al.* 2014; Martínez-García *et al.* 2015; Njarui *et al.* 2017; Burbano-Muñoz *et al.* 2018; Mwendia *et al.* 2018).

La reducción de los costos de producción es posible con estrategias como el pastoreo continuo intensivo (Prospero-Bernal *et al.* 2017), además de la implementación de tecnologías. Los cultivos en asociación es una estrategia que podría mantener la producción de forrajes de calidad y mantener el rendimiento productivo de vacas en producción de leche (Martínez-García *et al.* 2015; Celis-Alvares *et al.* 2016).

Las mezclas forrajeras (cultivos asociados con 3 especies) no se han evaluado en la región, las evaluaciones realizadas se basan en praderas con asociaciones de 2 especies comúnmente leguminosa-gramínea (Garduño-Castro *et al.* 2009; Hernández-Ortega *et al.* 2014, Celis-Álvarez *et al.* 2016; Plata-Reyes *et al.* 2018).

El uso de mezclas forrajeras (cereal de grano pequeño, leguminosa, gramínea) integradas a los sistemas el pastoreo continuo intensivo puede ser una estrategia de alimentación que mejore la eficiencia de los sistemas, con la producción de forraje en la temporada seca y por

ende participar en la disminución de costos de producción. (Stout *et al.* 1997; Garduño-Castro *et al.* 2009; Celis-Alvares *et al.* 2016; Sainz-Sánchez *et al.* 2017). El presente trabajo tiene como finalidad la evaluación del desempeño productivo de dos mezclas forrajeras compuestas de un cereal de grano pequeño, una gramínea y leguminosas, las variedades sembradas siguieron un criterio de disponibilidad o no disponibilidad en la región para su selección, se evaluó su producción de forraje, proporción y el impacto en la alimentación de vacas en producción, aportando información acerca de su comportamiento como cultivos asociados, su desempeño en la temporada de seca, concluyendo con la viabilidad de su implementación en SPLPE.

IV. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Existen diferencias en ANF y calidad nutritiva de las dos mezclas sembradas durante la temporada de seca?

¿La alimentación de vacas en producción de leche en pastoreo continuo intensivo con mezclas forrajeras puede aportar la cantidad de forraje necesaria y la calidad nutritiva para mantener la producción en SPLPE?

¿Cuál de los componentes de las mezclas forrajeras se encontrará en mayor proporción durante los periodos experimentales y como se comportarán las proporciones de los componentes de las mezclas bajo pastoreo durante el período experimental?

¿Existe diferencia en ANF, composición química y composición botánica entre las mezclas?

¿Con cuál de las mezclas obtiene una respuesta productiva mayor al ser incorporada como pastoreo de vacas lecheras en SPLPE?

¿Cuál es la viabilidad económica de las mezclas considerando los costos de producción del forraje y contrastándolos con los ingresos obtenidos por la venta de leche durante los periodos experimentales?

V. HIPÓTESIS

Las especies forrajeras de la mezcla alternativa (*Avena strigosa* var. *saia*, *Fesulolium* (*Loliummultiflorum*. x *Festuca pratensis*) var. *Springgreen*, *Visa villosa* var. *Namoi*) , sembradas durante la temporada seca, tendrán una acumulación neta de forraje y calidad superior a la mezcla convencional.

Las mezclas forrajeras (cereal de grano pequeño, gramínea, leguminosas) aportarán la cantidad y calidad de forraje necesarias para cubrir los requerimientos nutricionales y mantener la producción de vacas en pastoreo en SPLPE durante la temporada de invierno.

No existe diferencia en la producción, calidad de forraje y composición botánica de las mezclas forrajeras al ser pastoreadas durante la temporada de seca.

El cereal de grano pequeño se encontrará en mayor proporción en las praderas, en comparación al componente leguminosa y el componente gramínea, la proporción de los componentes en ambas mezclas se mantendrá constantes durante los periodos experimentales.

No existen diferencias significativas de rendimiento animal (producción y composición química de la leche, cambio de peso vivo y condición corporal) en vacas de producción, pastoreando las mezclas convencional y alternativa en SPLPE.

Se obtendrá un margen económico positivo de costos de producción entre los ingresos por venta de leche, indicando la viabilidad económica de la incorporación de mezclas como estrategia de producción de forraje para la temporada sea en SPLPE.

VI. OBJETIVOS

General

Evaluar los efectos productivos de la inclusión de dos mezclas (cereales de grano pequeño, gramíneas y leguminosas) en praderas pastoreadas por vacas de producción láctea, suplementadas con una mezcla de maíz molido y pasta de soya en Sistemas de Producción de Leche en Pequeña escala en condiciones de clima templado durante la temporada de invierno.

Específicos:

- Evaluar la cantidad y composición química del forraje de las mezclas forrajeras para contrastar su rendimiento productivo.
- Comparar y describir la composición botánica de las mezclas y el comportamiento de las especies mediante su proporción al estar asociadas, para determinar los cambios en su proporción durante el pastoreo.
- Evaluar los resultados productivos de la suplementación con una mezcla forrajera convencional en vacas de producción láctea para contrastar el efecto en la producción y composición química de la leche, cambio de peso vivo y condición corporal.
- Evaluar los resultados productivos de la suplementación de una mezcla forrajera alternativa en vacas de producción láctea para contrastar su efecto en la producción y composición química de la leche, cambio de peso vivo y condición corporal.
- Realizar un análisis de costos parciales con el fin de determinar si las mezclas forrajeras son una estrategia económicamente viable en SPLPE durante la temporada de invierno.

VII. MATERIAL Y MÉTODOS

7.1 Límite de espacio

La investigación se desarrolló bajo un enfoque de investigación participativa rural (Conroy, 2005). Las parcelas y la unidad de producción de leche se encuentran en el ejido San Jerónimo municipio de Aculco en el Noroeste del Estado de México, entre las coordenadas 20°06' y 20° 17' N, 99°40' y 100° 00' O, la altitud media es de 2440 msnm con una temperatura media anual de 14°C. La precipitación pluvial promedio anual de 800 milímetros con una temporada de lluvias de mayo a octubre y de seca de noviembre a abril, un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, existen cuatro condiciones de suelo predominando el tipo litosol (relieve de rocas a poca profundidad con pastizales y matorrales) (INEGI, 2009; Sainz-Sánchez *et al.* 2017; Burbano-Muñoz *et al.* 2018).

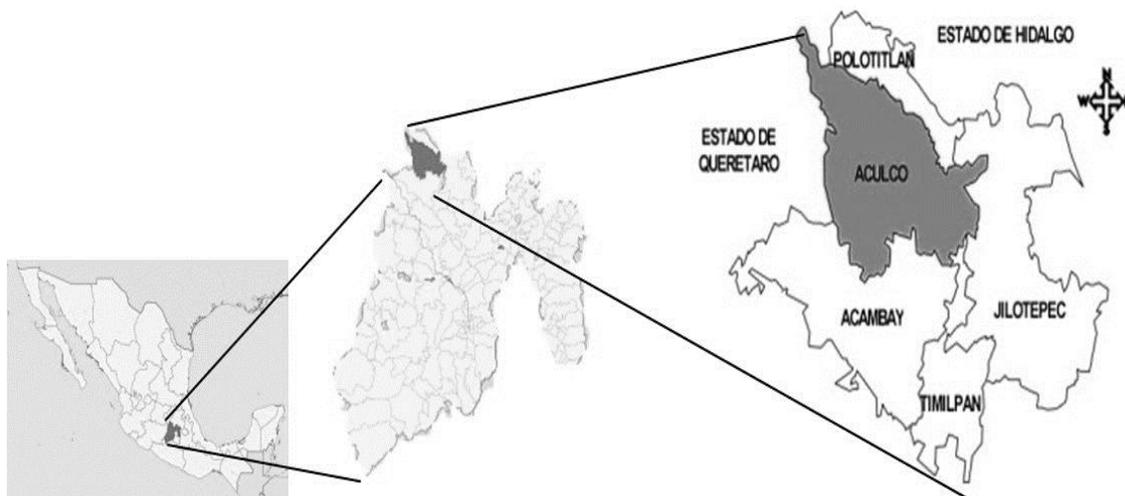


Figura 1 Ubicación del Municipio de Aculco, Estado de México, México.

Fuente elaboración propia.

7.2 Límite de tiempo

Los periodos experimentales comenzaron con el pastoreo a partir del 20 de febrero de 2017 y culminaron el 16 de abril de 2017, con una duración de 56 días.

7.3 Material biológico

La superficie de siembra total fue de 1.5 ha dividida en dos parcelas de 0.75 ha para cada tratamiento y los cultivos contaban con riego. La superficie de cultivo fue preparada mediante un arado mecánico, para comenzar la siembra de manera manual durante la temporada invernal el 25 de noviembre de 2016. El área de cultivo se encontraba a 200 m de las instalaciones de ordeño, la unidad productiva se ubica en el Ejido de San Jerónimo, Aculco, México.

Forrajes:

Mezcla convencional:

Raygrass anual (*Lolium multiflorum* “Westernwold”)

Veza común (*Vicia sativa*)

Avena (*Avena sativa* “Chihuahua”)

Mezcla alternativa:

Festulolium (*Loliummultiflorum. x Festuca pratensis* “SpringGreen”)

Veza de invierno (*Vicia villosa. “Namoi”*)

Avena negra (*Avena Strigosa* “Saia”)

7.4 Establecimiento de los cultivos

El área de cultivo de 1.5 hectáreas fue dividido en dos parcelas de .75 para cada tratamiento. El área de cultivo contaba con riego y fue arada en el mes de noviembre de manera mecánica para comenzar la siembra durante la temporada invernal. La siembra se realizó el 25 de noviembre de 2016 al voleo. Las dosis de siembra para la mezcla convencional fueron: 60 kg/ha Veza común (*Vicia sativa*), 30 kg/ha Raygrass anual var. Westernwold (*Lolium multiflorum*) y 66 kg/ha de Avena (*Avena sativa* var. *Chihuahua*). Para la mezcla forrajera alternativa fueron: 60kg/ha Veza de invierno (*Vicia villosa* var. *Namoi*), 30 kg/ha Festulolium cv Spring Green (*Lolium perenne* L. x *Festuca pratensis* Huds). y 66 kg/ha Avena negra cv Saia (*Avena Strigosa*) (Stout *et al.* 1997). Los cultivos fueron fertilizados ocho días después de la siembra con una dosis de 58-30-00 kg/ha de urea, fosfato di amónico y cloruro de potasio (no se aplicó) respectivamente posteriormente la parcela se irriego por arrastre de manera mensual (Sánchez-Gutiérrez *et al.* 2014).

Las dosis de siembra para la mezcla convencional fueron: 60 kg ha⁻¹ Veza común (*Vicia sativa*), 30 kg ha⁻¹ Raygrass anual (*Lolium multiflorum* “Westernwold”) y 66 kg ha⁻¹ de Avena (*Avena sativa* “Chihuahua”). Para la mezcla forrajera alternativa fueron: 60kg ha⁻¹ Veza de invierno (*Vicia villosa*. “Namoi”), 30 kg ha⁻¹ Festulolium (*Loliummultiflorum*. x *Festuca pratensis* “SpringGreen”) y 66 kg ha⁻¹ de Avena negra (*Avena Strigosa* “Saia”) (Stout *et al.* 1997). Los cultivos fueron fertilizados ocho días después de la siembra con una dosis de 58-30-00 kg ha⁻¹ de Nitrógeno, fosforo y potasio (NPK) respectivamente (Bobadilla *et al.* 2013; Sánchez-Gutiérrez *et al.* 2014), cada parcela se regó por arrastre de manera mensual.

7.5 Manejo del pastoreo

El pastoreo comenzó a los 87 días después de siembra tomando en consideración el estado fenológico de ambas mezclas similar a lo reportado por Aguilar-Lopez *et al.* (2013) quienes evaluaros forrajes en asociación Triticale x veza común. Cada grupo de vacas pastoreó durante 14 días el mismo tratamiento y al terminar cada periodo experimental las áreas de pastoreo de cada grupo de vacas se invirtieron.

Las vacas pastorearon durante 9 horas/día (08:00-17:00 horas), se suministró también suplementación con un concentrado a base de maíz (80%) y pasta de soya (20%) suministrados a razón de 3kg/día/vaca 1.5 kg. después de cada ordeño (Arriaga-Jordán *et al.* 2001).

7.6 Variables a medir

Rendimiento productivo pradera

Se utilizaron dos indicadores de rendimiento productivo de los forrajes; acumulación neta de forraje (ANF) y altura comprimida (AC). La estimación de ANF expresada en kg MS ha⁻¹ se realizó colocando 5 jaulas de exclusión (0.25m² cada una) en cada pradera. Se realizaron cortes a ras de suelo el día 0 y cada 14 días en cada periodo experimental utilizando un cuadrante de metal de 0.16m² (Burbano-Muñoz *et al.* 2018).

Se utilizó el método descrito por Heredia-Nava *et al.* (2007) con modificaciones. Se redujeron los periodos de corte de 21 a 14 días, el tamaño del cuadrante de metal para cortes de 0.50m² (0.25 x 2.0 m) a 0.16m² (0.40 x 0.40 m). La altura comprimida (cm) se midió con 25 mediciones por tratamiento para cada periodo utilizando un medidor de plato ascendente (Hodgson, 1994).

Composición Botánica

Para determinar la composición botánica (CB), se obtuvieron muestras de 40 cuadrantes cortados (5 por tratamiento en cada periodo). En cada muestra se realizó una separación de especies en; avena, gramínea, vicia y arvenses (Lemus-Ramírez *et al.* 2002) Posteriormente cada especie fue pesada y secada en una estufa de aire forzado a 65°C por 48 h, se determinó la cantidad de materia seca de cada especie para estimar su contenido en los tratamientos durante cada periodo siguiendo la metodología descrita por Stout *et al.* (1997).

Composición química tratamientos

Se determinó mediante una muestra de pastoreo simulado para cada tratamiento tomada el día 14 de cada periodo experimental (Hodgson, 1994). Las muestras para composición bromatológica fueron procesadas de acuerdo con el procedimiento establecido por la AOAC (2005). Se determinó materia seca (MS) pesando las muestras y secándolas en una estufa de aire forzado a 65° C durante 48 h, la materia orgánica (MO) se estimó incinerando 2 g de muestra en una mufla a 550° C durante 3 h.

Las muestras se procesaron con una repetición. La proteína cruda (PC) se determinó mediante el método para la determinación del nitrógeno orgánico Kjeldahl multiplicando el resultado por el factor 6.25 (NRC, 2001). El contenido de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) fue determinado mediante el método de bolsas ANKOM (Ankom, 2005) utilizando la técnica Van Soest *et al.* (1991).

La digestibilidad in vitro (DIVMS) y digestibilidad in vitro de la materia orgánica (DIVMO) se determinó mediante digestibilidad con líquido ruminal método Daisy II en un Incubator Ankom Technology (Celis-Álvarez *et al.* 2016), se determinó EM de acuerdo con AFRC (1993).

Producción animal

Se estimó utilizando las variables: producción de leche (PL) ($\text{kg vaca}^{-1}\text{d}^{-1}$), el peso vivo (PV) (kg vaca^{-1}) y la condición corporal (CC) en una escala de 1-5 de acuerdo con Wildman *et al.* (1982). La producción de leche se obtuvo pesando la leche de cada ordeño mediante una

báscula de reloj. El PV y CC fueron determinados al inicio del estudio y el día 14 de cada periodo una vez terminado el ordeño de la mañana (Celis-Álvarez *et al.* 2016; Burbano-Muñoz *et al.* 2018).

Para determinar la composición química de la leche (CQL) se recolectaron muestras durante los 4 días de medición de cada periodo. Para el análisis se realizó una homogeneización de las muestras de leche de mañana y tarde, generando cuatro muestras por vaca por periodo (Sainz-Sánchez *et al.* 2017). Se determinaron proteína, lactosa, grasa y sólidos totales mediante ultrasonido con el equipo Ekomilk-BLOND M®.

Análisis económico

Se utilizó el método de presupuestos de actividad (Wiggins *et al.* 2001) con modificaciones. Se obtuvieron presupuestos parciales de los costos de producción de las mezclas: costo de semillas, fertilizantes y riego, los ingresos económicos se estimaron mediante la venta de leche. Este método se ha utilizado previamente en SPLPE para evaluar los resultados económicos de la implementación de innovaciones en los procesos productivos y estrategias de alimentación en México (Anaya-Ortega *et al.* 2009; Martínez-García *et al.* 2015; Sainz-Sánchez *et al.* 2017; Burbano-Muñoz *et al.* 2018).

7.7 Desarrollo del experimento

Para evaluar los efectos de las mezclas en pastoreo se utilizaron 8 vacas multíparas encastadas Holstein (462.4 ± 43.16 kg de peso vivo (PV), condición corporal (CC) de 3.37 ± 1 y rendimiento promedio de leche de 5.1 ± 1.7 kg/vaca/día y 135.2 ± 88.4 días en promedio de lactación). Las 8 vacas se asignaron a dos grupos (4 vacas por grupo) en función de la etapa de lactación y rendimiento de leche (Celis-Álvarez *et al.* 2016). Las vacas del Grupo 1, con un rendimiento diario de leche de 5.1 ± 2.1 kg vaca⁻¹ y lactancia de 149.7 ± 133.7 d⁻¹. El Grupo 2, estaba formado por vacas con un rendimiento diario de leche de 5.3 ± 1.8 kg vaca⁻¹ y una lactancia de 120.7 ± 32.1 d⁻¹.

Duración del experimento, parámetros a evaluar

Cuadro 3 Fecha de periodos experimentales por secuencia de tratamiento

Fecha	20-02-17 al 05-03-17	06-03-17 al 19-03-17	20-03-17 al 02-04-17	03-04-17 al 16-04-17	
No. vaca	Periodo I	Periodo II	Periodo III	Periodo IV	Secuencia
8257	A	C	A	C	ACAC
6981	A	C	A	C	ACAC
8261	A	C	A	C	ACAC
8259	A	C	A	C	ACAC
5769	C	A	C	A	CACA
8260	C	A	C	A	CACA
5768	C	A	C	A	CACA
8262	C	A	C	A	CACA

A= Mezcla alternativa, C= Mezcla convencional.

- 1.
2. Rendimiento semanal de la leche
3. La composición química de la leche
4. Peso vivo al comienzo y final de cada periodo.

7.8 Tratamientos

Cuadro 4 Composición de la dieta componentes de las mezclas en pastoreo y concentrado.

Mezcla	Cereal	Leguminosa	Gramínea	Concentrado
Alternativa	Avena chihuahua	Veza de invierno	Festulolium	3 kg ⁻¹ d ⁻¹
Convencional	Avena saia	Veza común	Ryegrass	3 kg ⁻¹ d ⁻¹

7.9 Análisis estadísticos

Se utilizó un arreglo de parcelas divididas y se analizó mediante Análisis de Varianza para las variables de rendimiento productivo de la pradera ANF, AC, CB utilizando el paquete Minitab M® (versión 14) con una $P < 0.05$.

Modelo estadístico para praderas:

Modelo Aditivo Lineal

$$Y_{ijk} = \mu + P_k + \alpha_i + E_{(\alpha)} + B_j + (\alpha B)_{ij} + E_{(B)}$$

Donde:

Y_{ijk} = Acumulación neta de forraje.

μ = Media de la población.

α = Efecto de las mezclas al i-ésimo nivel del factor.

$E(\alpha)$ = Error experimental de parcela mayor (Mezclas).

B = Efecto de los periodos al j - ésimo nivel del factor “B”

$(\alpha*B)$ = Efecto de la interacción (mezcla-periodo) del i- ésimo nivel del factor α con el bloque j-ésimo nivel del factor B.

E_B = Error experimental de parcela menor periodos.

El análisis de los datos para las variables PV, CC y CQ se realizó con el paquete estadístico Minitab M® (versión 14) mediante ANDEVA con una ($P < 0.05$). Se utilizó una prueba de Tukey ($p < 0.05$) cuando se encontraron medias con diferencia significativa para las variables rendimiento productivo de leche (PL), peso vivo (PV), condición corporal (CC), composición química de leche (CQ) grasa, lactosa, proteína, sólidos totales.

Modelo estadístico para rendimiento animal:

Modelo Aditivo Lineal

$$Y_{ijklm} = \mu + S_i + V_{(j)i} + P_k + Tx_l + E_{ijklm}$$

Donde:

μ = Media general.

S_i = Secuencia de tratamientos.

$V_{j(i)}$ = Efecto debido a secuencia anidado en vaca.

P_k = Periodo experimental.

Tx_l = Efecto debido a tratamientos.

E_{ijklm} = Error residual.

VIII. RESULTADOS

8.1 Oficio de confirmación de envío del artículo científico

15/11/2018

Gmail - RV: African Journal of Range & Forage Science - Manuscript ID TARF-2018-0161



Jenaro Plata <genaro.359@gmail.com>

RV: African Journal of Range & Forage Science - Manuscript ID TARF-2018-0161

Carlos Manuel Arriaga Jordan <cmarriagaj@uaemex.mx>
Para: Genaro Plata Pérez <genaro.359@gmail.com>

2 de noviembre de 2018, 21:16

-----Mensaje original-----

De: African Journal of Range & Forage Science [mailto:onbehalf@manuscriptcentral.com]

Enviado el: viernes, 2 de noviembre de 2018 09:16 p. m.

Para: Carlos Manuel Arriaga Jordan <cmarriagaj@uaemex.mx>

Asunto: African Journal of Range & Forage Science - Manuscript ID TARF-2018-0161

02-Nov-2018

Dear Dr ARRIAGA-JORDAN:

Your manuscript entitled "Short-term mixed pastures for grazing dairy cows during winter in small-scale dairy systems in the highlands of Mexico" has been successfully submitted online and is presently being given full consideration for publication in the African Journal of Range & Forage Science.

Your manuscript ID is TARF-2018-0161.

Please mention the above manuscript ID in all future correspondence. If there are any changes in your street address or e-mail address, please log in to Manuscript Central at <https://mc.manuscriptcentral.com/tarf> and edit your user information as appropriate.

You can also view the status of your manuscript at any time by checking your Author Centre after logging in to <https://mc.manuscriptcentral.com/tarf>.

Thank you for submitting your manuscript to the African Journal of Range & Forage Science.

Sincerely,
African Journal of Range & Forage Science Editorial Office

This is a system-generated automatic email. If you have any queries, please contact Freyni du Toit (journal@grassland.org.za) directly.

The Official Journal of the Grassland Society of Southern Africa (<http://www.grassland.org.za/>) co-published with NISC (<http://www.nisc.co.za/>) and Taylor & Francis (<http://www.tandfonline.com/>). There are now over 1500 Taylor & Francis titles available on our free table of contents alerting service! To register for this free service visit: <http://www.tandfonline.com/>.

<https://mail.google.com/mail/u/0?ik=30e03d97ec&view=pt&search=all&permmsgid=msg-f%3A1616081062675424936&simpl=msg-f%3A16160810626...> 1/1

8.2 Artículo enviado al African Journal of Range & Forage Science

Short-term mixed pastures for grazing dairy cows during winter in small-scale dairy systems in the highlands of Mexico

Genaro Plata-Pérez, Ernesto Sánchez-Vera, Carlos Galdino Martínez-García, Felipe López-González and Carlos Manuel Arriaga -Jordán

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

Corresponding Author:

Dr. Carlos M. Arriaga-Jordán

Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR)

Universidad Autónoma del Estado de México,

Campus UAEM El Cerrillo,

Toluca, C.P. 50090, Estado de México

MEXICO.

Tel. and Fax: +52 (722) 296 55 52

E-mail: cmarriagaj@uaemex.mx

Short-term mixed pastures for grazing dairy cows during winter in small-scale dairy systems in the highlands of Mexico

Abstract

The objective was to assess yield and herbage quality of two mixed short-term pastures of grass, oat, and vetch during the winter dry season for grazing dairy cows. The mixed pastures were termed as locally available seed (LAS) and not locally available seed (NLS). LAS was annual ryegrass (*Lolium multiflorum* cv. Westerwolds), common oat (*Avena sativa* cv. Chihuahua) and common vetch (*Vicia sativa*), NLS was festulolium (*Lolium multiflorum* x

Festuca pratensis cv. Spring Green), black oat (*Avena strigosa* cv. Saia), and winter vetch (*Vicia villosa* cv. Naomi); under the hypothesis that NLS had higher yields and better performance than LAS. Herbage yield, chemical and botanical composition were analysed with a split-plot design where mixed pastures were main plots and periods split-plots. Eight low yielding Holstein cows with 462.4 ± 43.16 kg live weight (LW), 3.4 ± 0.1 body condition score (BCS), milk yield of 5.1 ± 1.7 kg/cow/day, and 135.2 ± 88.4 days in milk were continuously grazed at 4 cows/ha ; and animal variables analysed with a cross-over design. There was a significant interaction ($P < 0.05$) between pastures and periods for net herbage accumulation; and no differences in animal variables ($P > 0.05$), but milk yields increased two-fold. NLS represented higher feeding costs given the more expensive cost of seeds.

Keywords: Mixed pastures, dry season, grazing, herbage production, feeding strategies.

Introduction

World population will increase by 25% by 2030, increasing demand for foods of animal origin. Small-scale farming systems may contribute to meet increased food needs, but many are behind in technification and development (Mwendia *et al.* 2018). Therefore, there is a need to improve not only productivity but also the income of farming family by transfer of technology, access to quality inputs, and the development of quality forages (Martínez-García *et al.* 2015).

In Mexico, 78% of specialized dairy farms are small-scale, characterized by small farms (6-10 ha), herd size between 3 and 35 cows plus replacements, and that rely mainly on family labour (Espinoza-Ortega *et al.* 2007; Sainz-Sánchez *et al.* 2017). These systems contribute over 40% of national milk production, and are a rural development option providing occupation and income to farming families contributing to reduce poverty (Martínez-García *et al.* 2015; Prospero-Bernal *et al.* 2017).

Limiting factors of small-scale dairy systems are similar around the world, noting high workloads for farmers, feed scarcity in dry seasons that creates a high dependency in external inputs that reduce their economic efficiency. In Kenya, Ghana and Mexico, there is a

pronounced decrease of forages both in terms of quantity as in quality during the dry season, limiting the development of small-scale dairy farming (Martínez-García *et al.* 2015; Njarui *et al.* 2017; Burbano-Muñoz *et al.* 2018; Mwendia *et al.* 2018).

It is possible to reduce production costs in these systems with the implementation of strategies as intensive continuous grazing (Prospero-Bernal *et al.* 2017), and technologies to improve the supply of quality forages (Martínez-García *et al.* 2015). Some of these strategies are the use of silages (Celis-Alvarez *et al.* 2016; Burbano-Muñoz *et al.* 2018), alternative forages, and mixed pastures.

Several authors agree that mixed pastures show higher yields compared to monocrops (Ergon *et al.* 2016; Olivo *et al.* 2016). The magnitude of responses depends on factors as the individual yield of each species, date of sowing, adaptation to the area, and seed rates at sowing (Lemus-Ramírez *et al.* 2002; Ergon *et al.* 2016; Akapali *et al.* 2018).

Therefore, the use of mixed pastures with legumes results in stable yields and herbage quality; and may enable extending the production of herbage during the dry season, the full use of the ground, and to improve soil fertility through nitrogen fixation (Stout *et al.* 1997; Lithourgidis *et al.* 2007).

Mixed short-term pastures of three species have not been evaluated in central Mexico. Available evaluations are of two species grass – legume pastures or forage crops (Garduño-Castro *et al.* 2009; Hernández-Ortega *et al.* 2011; Celis-Álvarez *et al.* 2016).

Mixed short-term pastures for grazing of a small-grain cereal like oat, a legume like vetch and a grass may be a feeding strategy that enhances the efficiency of these systems by increasing feed supply in the dry season and reduce costs (Stout *et al.* 1997; Garduño-Castro *et al.* 2009; Celis-Alvarez *et al.* 2016).

The objective was to assess the performance of two mixed short-term pastures of three species under grazing by dairy cows during the dry season. A pasture from locally available seed (LAS) was compared against a pasture from not locally available seed (NLS); under the hypothesis that NLS had higher yields and better performance than LAS.

Materials and methods

The study followed a participatory livestock research approach (Conroy, 2005) with an on farm experiment with a participating farmer. The farm is located in the State of Mexico in the central highlands, between 20°06' and 20° 17' N, and between 99°40' and 100° 00' W. Mean altitude is 2440 m, a sub-humid temperate climate with a mean temperature of 14°C, and 800 mm mean annual rainfall with a marked rainy season between May and October, and a dry season in winter (November to April) (Sainz-Sánchez *et al.* 2017; Burbano-Muñoz *et al.* 2018).

Short-term pasture establishment and management

An irrigated 1.5 ha plot was divided in two 0.75 ha for each pasture; and two seed mixtures evaluated. One termed as locally available seed (LAS) as seed was available in the agricultural shops in the main town, the municipal seat. The second pasture was not locally available seed (NLS) as it included seed from pasture species newly available in Mexico that must be bought from large seed retailers.

Sowing rate for LAS was 30 kg/ha of annual ryegrass (*Lolium multiflorum* cv. Westerwolds), 60 kg/ha common vetch (*Vicia sativa*) of a local landrace, and 66 kg/ha of common oat (*Avena sativa* cv. Chihuahua). NLS seed rate was 30 kg/ha of Festulolium (*Lolium multiflorum* x *Festuca pratensis* cv. SpringGreen); 60 kg/ha winter vetch (*Vicia villosa* cv. Naomi), and 66 kg/ha of black oat (*Avena Strigosa* cv. Saia).

Sowing by broadcasting seed by hand was on 25 November 2016, and pastures were fertilized eight days post-sowing with 58 N – 30 P - 0 K following recommendations by Sánchez-Gutiérrez *et al.* (2014), and flood irrigated every four weeks.

Grazing management

Eight low yielding Holstein cows assigned in two groups grazed following a double cross-over design. Cows in Group 1 had a pre-experimental mean milk yield of 5.1±2.1 kg/cow/day and 149.7±133.7 days in milk. Pre-experimental yield in Group 2 was 5.3 ±1.8 kg/cow/day, and 120.7±32.1 days in milk.

Grazing started 87 days post-sowing. Experimental periods were 14 days each (10 days for adaptation to treatment and four days for measurements) following the methodology used by

Pérez-Ramírez *et al.* (2012) and Burbano-Muñoz *et al.* (2018). At the end of each period, cow groups changed to graze the other pasture in a LAS-NLS-LAS-NLS / NLS-LAS-NLS-LAS treatment sequences.

Grazing was for 9 hours/day (8:00 to 17:00 h), and cows received 3.0 kg/cow/day fresh weight of a supplement made by the farmer of 80% ground maize grain and 20% soya bean meal divided in two allocations, given at milkings.

Pasture variables

Estimation of Net herbage accumulation (NHA) in kg DM/ha was from five 0.25m² (0.5 x 0.5 m) exclusion cages in each pasture. Herbage was cut to ground level with hand-held shears on day 0 outside cages, and on day 14 inside cages using a 0.16m² (0.40 x 0.40m) metal frame, after which cages were placed in a new location within the corresponding pasture following Hoogendoorn *et al.* (2016) and Burbano-Muñoz *et al.* (2018).

Records of compressed sward height (cm) were with a raising plate grass-metre from 25 measurements per pasture at the end of each period Hoogendoorn *et al.* 2016).

Botanical composition was in the herbage from the five quadrants per pasture per period used for NHA; separating oat, grass, vetch and other plants following Lemus-Ramírez *et al.* (2002). Each separated botanical group was weighed and dried in a draught oven at 65°C for 48 h, establishing the contribution in DM of each botanical group per treatment following Stout *et al.* (1997).

Chemical composition of herbage

Chemical composition of herbage was determined on hand-plucked samples simulating grazing at the end of each experimental period; and analysed for dry matter (DM) by oven drying at 65°C for 48 h, crude protein (CP) by the Kjeldahl method, neutral detergent fibre (NDF) and acid detergent fibre (ADF) by the micro-bag technique, ashes by incineration at 550°C in a muffle furnace following procedures described in pervious works by Anaya-Ortega *et al.* (2009) and Burbano-Muñoz *et al.* (2018).

In vitro dry matter digestibility (IVDMD) and *in vitro* organic matter digestibility (IVOMD) were by incubation with ruminal liquor in a Daisy II Ankom Incubator, from which

metabolizable energy content was estimated (eME) following AFRC (1993) and (Celis-Álvarez *et al.* 2016).

Animal variables

Recording of daily milk yield (MY) during the four last days of each period was with a spring balance; and Live-weight (LW) and Body Condition Score (1 – 5 scale) taken at the beginning of the experiment and at the end of each period after morning milking (Celis-Álvarez *et al.* 2016; Burbano-Muñoz *et al.* 2018).

Chemical composition of milk was from aliquot samples of morning and evening milkings in the four recording days at the end of each period, and analysed with an ultrasound milk analyser (Ekomilk Bond model Ultra 40s BULTEH 2000 Ltd., Bulgaria, Europe) for milkfat, protein, and lactose.

Statistical analyses

The experiment lasted from 20 February to 16 April 2017.

Pasture variables

Statistical analyses followed a split-plot design with the following model:

Pasture variables were analysed with a split-plot experimental design, where short-term mixed pastures (LAS and NLS) were treatment fixed effects (main plots), and the four experimental periods were random effects (split plots), via analysis of variance with the model:

$$Y_{ijkl} = \mu + r_i + T_j + E_k + p_l + T_{pjl} + e_{ijk}$$

Where:

μ = General mean

r = Effect of replicates $i = 1, \dots, 5$ (for NHA and botanical composition, 25 for sward height)

T = Effect of treatment (Main Plot) $j = 1, 2$

E = Error term for Main Plots $[r(T)ij]$

p = Effect of experimental periods (split - plot) $k = 1, \dots, 4$

T_p = Interaction term between treatments and experimental periods

e = Error term for split plots

Animal variables

A double cross-over experimental design analysed animal variables with the treatment sequence LAS-NLS-LAS-NLS for Group 1 of cows, and Group 2 followed the sequence NLS-LAS-NLS-LAS (Obispo *et al.* 2004), randomly allotting cow group to treatment sequence. Experimental periods were 10 d for adaptation and 4 for recordings (Celis-Álvarez *et al.* 2016; Burbano-Muñoz *et al.* 2018). The model for analysis was:

$$Y_{ijklm} = \mu + S_i + C_{(j)i} + P_k + T_l + E_{ijklm}$$

Where:

μ = General mean

S = Treatment sequence (i = 1,2)

C = Effect of cows within treatment sequence (j = 1, ..., 4)

P = Experimental periods (k = 1, ... 4)

T = Effect due to treatments (pastures) (l = 1, ..., 4)

E = Residual variation

Economic analyses

The economic analyses were by activity budgets as has been undertaken in previous works (Espinoza-Ortega *et al.* 2007; Prospero-Bernal *et al.* 2017); just taking into account feeding costs and milk returns (Martínez-García *et al.* 2015; Burbano-Muñoz *et al.* 2018).

Results

The experiment took place from 20 February to to 16 April 2017, during the dry season.

Net herbage accumulation (NHA) and grass-metre sward height (SH)

Table 1 shows results for NHA and (SH) where there were significant interactions (P < 0.05) between treatments (short-term pasture) and experimental periods for both variables.

Table 1: Net herbage accumulation (NHA) and grass-metre sward height (SH).

Treatments	Experimental Periods				SEMMP	p-value
	P1	P2	P3	P4		
NHA (kg DM/ ha ⁻¹)						
LAS	1223.3	1699.4	741.1	984.9		
NLS	2397.4	807.14	747.9	1459.5	60.96	0.666
Mean	1810.35	1253.2	744.5	1222.2		
SEMsp	440.74					0.018
SEM(MP*sp)	244.22					0.024
Sward height						
LAS	26.2	11.2	13.3	16.5		
NLS (cm)	24.8	17.1	10.1	13.5	0.15	0.680
Mean	25.5	14.2	11.7	15.0		
SEMsp	5.58					0.000
SEM(MP*sp)	1.27					0.000

NHA = Net herbage accumulation, SW = Grass-metre sward height, LAS = Locally available seed mixture, NLS = Non locally available seed mixture, SEMMP = Standard Error of the Mean for Main Plots (Pastures), SEMsp = Standard Error of the Mean for split plots (Experimental Periods), SEM(MP*sp) Standard Error of the Mean for the Interaction of pastures x experimental periods, p-value = Probability value (where $\alpha = 0.05$).

NHA for LAS for the experiment was 4648 kg DM/ha (83 kg DM/day) compared to 5305 kg DM/ha for NLS (94 kg DM/day). SH declined rapidly after grazing began to achieve a more stable height after P1.

Botanical composition

Table 2 shows the botanical composition of both short-term pastures. There were significant differences for the different botanical components of pastures.

Common vetch constituted a significantly higher proportion of DM in LAS than hairy vetch in NLS with a trend towards differences between periods given the highest proportion of vetches in P2 that declined sharply in P4.

Westerwolds annual ryegrass constituted significantly less ($P < 0.05$) proportion of total DM than festulolium, which on average represented just above 50% of DM. There was also a

trend towards significant differences between periods with no significant interaction ($P < 0.05$).

There was a significant interaction between pastures and experimental periods for the oat component ($P < 0.05$). Common oat in LAS declined its proportion in the DM for P2, recovering to over 40% in P3 and P4, whilst black oat increased in P2 to abruptly decline in P3 and P4. There were no significant differences of pastures, periods or the interaction for the proportion of other plants in the DM which were less than 10% of DM.

Results may indicate that festulolium is more aggressive with associated vetches and oats, and that common vetch is better adapted to the agroecological conditions of the area. Both oat species have a sharp increase in their proportion after P1, with black oat increasing to 40% of DM in P2, whilst common oat did that in P3.

Table 2: Botanical composition of the mixtures by species and period (g/kg DM).

Treatments	Seed	P1	P2	P3	P4	Mean	SEMMP	p-value
LAS	CV	200.1	365.8	169.7	98.0	208.4		
NLS	WV	109.4	111.8	136.5	66.4	106.0	77.60	0.002
	Mean	154.8	238.8	153.1	82.2	157.2		
	SEM _{sp}			52.59				0.054
	SEM(MP* _{sp})			27.66				0.083
LAS	RG	433.9	341.4	387.8	356.2	379.8		
NLS	FL	552.8	332.4	560.8	563.9	502.5	92.01	0.005
	Mean	493.3	336.9	474.3	460.1	441.1		
	SEM _{sp}			69.70				0.057
	SEM(MP* _{sp})			30.60				0.176
LAS	CO	336.5	251.1	419.2	428.1	358.7		
NLS	BO	320.7	440.9	199.8	250.9	303.1	40.31	0.194
	Mean	328.6	346.0	309.5	339.5	330.9		
	SEM _{sp}			17.12				0.913
	SEM(MP* _{sp})			53.35				0.020

LAS	OT	29.5	41.7	23.3	117.7	53.0		
NLS	OT	17.1	114.9	102.9	118.8	88.4	25.90	0.117
	Mean	23.3	78.3	63.1	118.2	70.7		
	SEMsp			34.73				0.104
	SEM(MP*sp)			12.89				0.398

LAS = Locally available seed mixture, NLS = Non locally available seed mixture, CV = Common vetch, WV = Winter vetch, RG = Westerwolds annual ryegrass, FL = Festulolium, CO = Common oat, BO = Black oat, OT = Other plants, SEMMP = Standard Error of the Mean for Main Plots (Pastures), SEMsp = Standard Error of the Mean for split plots (Experimental Periods), SEM(MP*sp) Standard Error of the Mean for the Interaction of pastures x experimental periods, p-value = Probability value (where $\alpha = 0.05$).

It is interesting to note that in spite of the vigorous growth of oats, both annual ryegrass in LAS and festulolium in NLS contributed an important proportion of DM, with common oat and annual ryegrass with similar proportions (38% and 36% respectively), while in NLS festulolium represented 50% of DM, black oat 30% with winter vetch contributing just above 10% of DM.

Chemical composition

Tables 3 and 4 show the chemical composition of feeds used in the experiment.

Table 3: Chemical composition of short-term pastures (g/kg DM except eME).

Treatments		Periods				Mean
		P1	P2	P3	P4	
LAS	DM	215.9	266.4	314.2	323.0	279.9
	OM	917.0	912.0	907.0	910.0	911.5
	CP	89.3	85.8	87.5	134.7	99.3
	NDF	342.2	403.2	482.0	499.9	431.9
	ADF	254.3	282.3	365.8	362.1	316.1
	IVDDM	750.3	759.2	683.3	629.9	705.7
	IVDOM	739.9	749.1	670.6	615.5	693.8

Mezclas forrajeras en pastoreo en las estrategias de alimentación de sistemas de producción de leche en pequeña escala, durante la temporada de invierno

		eME (MJ/kg DM)				
		11.2	11.3	10.1	9.3	10.5
NLS	DM	241.3	260.6	292.8	299.4	273.5
	OM	913.0	923.0	918.0	908.0	915.5
	CP	92.8	105.1	92.8	131.2	105.0
	NDF	417.4	401.8	443.8	517.6	445.2
	ADF	302.7	280.9	360.4	405.1	337.3
	IVDDM	776.8	772.9	675.1	646.8	717.9
	IVDOM	767.3	763.3	662.2	633.0	706.5
		eME (MJ/kg DM)				
		11.6	11.5	10.0	9.6	10.7

DM= Dry matter, OM= Organic Matter, CP= Crude protein, NDF= Neurtal detergent fibre, ADF= Acid detergent fibre, IVDDM= *In vitro* digestibility of DM, IVDOM= *In vitro* digestibility of OM, eME= Estimated metabolizable energy

Table 4: Chemical composition of home-made concentrate.

Home-made		
concentrate	DM	948.0
	OM	940.2
	CP	162.8
	NDF	41.3
	ADF	30.1
	IVDDM	727.3
	IVDOM	715.4
	eEM (MJ/kg DM)	10.8

DM= Dry matter, OM= Organic Matter, CP= Crude protein, NDF= Neutral detergent fibre, ADF= Acid detergent fibre, IVDDM= *In vitro* digestibility of DM, IVDOM= *In vitro* digestibility of OM, eME= Estimated metabolizable energy

Herbage from both short-term pastures was of good quality, with DM content increasing as the experiment progressed reflecting an increase in maturity that reduced *in vitro* digestibility and thus, estimated metabolizable energy content. It is probable that the oat component of pastures contributed most to declining quality given the rapid growth rates of oat species.

In terms of chemical composition, both pastures were very similar, both with low CP content (under 120 g/kg) which again may have been due to the oat component in the pastures. Even in NLS where festulolium comprised just over 50% of DM, CP was low with a mean of 105 g CP/kg DM.

Animal performance

Table 5 shows there were no statistical differences ($P>0.05$) in any of the animal variables evaluated (milk yield and composition, live weight, and body condition score).

It is interesting to note that during the experiment, cows increased their milk yield by a mean of 4.8 kg/cow/day, almost double the pre-experiment milk yield of 5.1 kg/cow/day; and by the end of the experiment, mean milk yield was 2.3 times pre-experimental yield noting the good quality of both short-term pastures.

Table 5: Animal variables

	Treatments	PI	P2	P3	P4	SEM	p- value
Milk yield (kg/cow/day)	LAS	7.63	10.01	10.94	11.01		
	NLS	6.82	11.33	10.50	10.95	1.38	0.89
Live weight (kg)	LAS	404.8	428.4	424.4	435.4		
	NLS	449.1	409.3	452.1	433.3	16.02	0.95
BCS	LAS	2.8	3.3	3.3	3.3		
	NLS	3.1	3.3	3.3	3.1	0.16	0.94
Milk fat (%)	LAS	3.6	3.2	3.1	2.7		
	NLS	3.4	3.8	3.1	2.6	0.21	0.60
Total milk solids (%)	LAS	9.5	8.4	9.1	9.3		
	NLS	9.5	8.3	8.9	9.3	0.20	0.99
Milk protein (%)	LAS	3.6	3.2	3.3	3.5		
	NLS	3.6	3.1	3.4	3.5	0.08	0.66
Lactose (%)	LAS	5.2	4.6	4.7	5.1		
	NLS	5.2	4.5	4.8	5.1	0.13	0.69

BCS = Body Condition Score, SEM = Standard Error of the Mean for treatments and experimental periods, p-value = Probability value (where $\alpha = 0.05$).

Economic analyses

There was a positive margin over feed costs for both short-term pastures (Table 6). Herbage costs for NLS was double that for LAS given the high price of the festulolium, winter vetch and black oat seeds.

The cost of winter vetch seed was 3.6 times that of common vetch, festulolium seed was 3.0 times more expensive than Westerwolds annual ryegrass, and black oat seed was 50% more expensive than common oat.

Nonetheless, the impact of pasture costs on total feeding costs and economic returns is small since over 90% of feeding costs were due to the concentrate.

Table 6: Economic analysis (in US\$).

	LAS	NLS
Concentrate (US\$)	371.20	371.20
Grazing (USE\$)	13.00	30.00
Total feeding costs (US\$)	384.20	401.20
Total milk yield (kg)	2217.6	2217.0
Selling price (US\$/kg)	0.31	0.31
Income from milk sales (US\$)	683.00	682.80
Margin over feed costs (US\$)	298.80	281.60
Feeding cost per kg milk (US\$)	0.10	0.10
Margin over feed costs per kg milk (US\$)	0.20	0.20
Income/feed costs (US\$)	1.78	1.70

Discussion

Net herbage accumulation and sward height

Observed NHA was higher than reports by Burbano-Muñoz *et al.* (2018) in the same area during the dry season with multi-species pastures of perennial ryegrass (*Lolium perenne*) of two varieties (Bargala and Payday), festulolium (*Lolium multiflorum* × *Festuca pratense*) of the same SpringGreen variety as in the work herein reported and Ladino white clover (*Trifolium repens*).

Observed NHA was also higher than reported by Celis-Álvarez *et al.* (2016) in pastures of perennial ryegrass (*Lolium perenne* cv. Bargala), annual ryegrass (*Lolium multiflorum* cv. *Maximus*), white clover (*Trifolium repens* cv. Ladino), and common oat (*Avena sativa*) cv. Chihuahua, the same as used in this experiment.

Higher NHA in the short-term pastures evaluated may have been both by the positive effects of the association as from the vigorous growth of the short-term grasses (annual ryegrass in LAS and festulolium in NLS) that were the major pasture components in both mixtures.

The plasticity of plant species with differing morphology, seasonal growth, or adaptation habits is an aspect now recognised as an advantage in multispecies pastures (Schellberg and Pontes 2012), may have influenced observed results.

Figure 1 graphically shows the significant interaction between pastures and experimental periods observed in NHA; where NLS had higher NHA during P1 to decline in P2, when LAS had higher NHA, and thereafter both short-term pastures had similar NHA in P3 and slightly higher for NLS in P4. This performance may indicate the advantage of both seed mixtures to ensure a more stable herbage supply over the dry season.

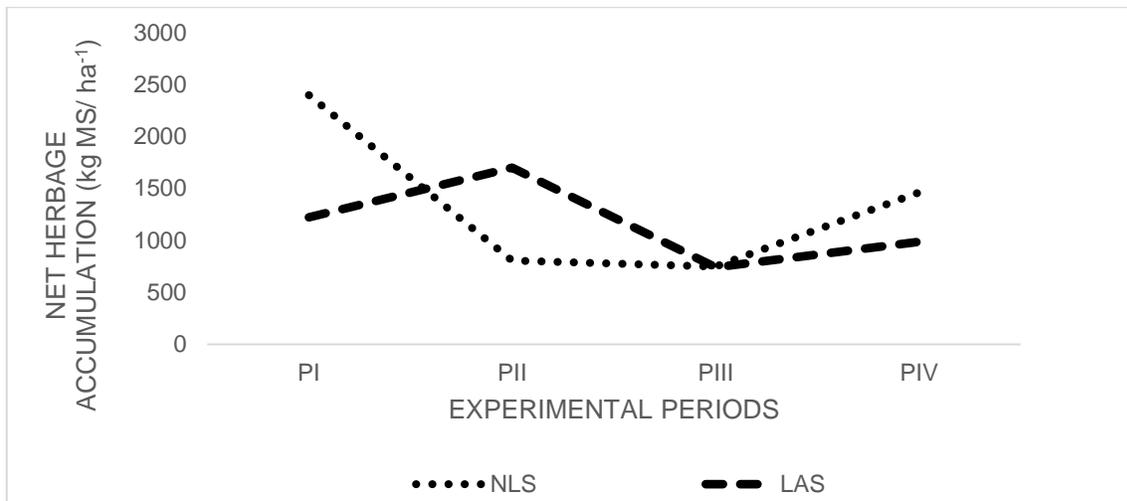


Figure 1: NHA interaction between short-term pastures and experimental periods.

There was no clear relationship between NHA and grass-metre compressed sward height, contrary to reports by Mwendia *et al.* (2017) evaluating five oat varieties in Kenia cut at 115 days after sowing, and they measured total plant height and not compressed height as done with the rising plate grass-metre used in the work herein reported.

The stiffer stems of the oat component surely affected the measured grass-metre sward height, whilst the more prostrate grasses and vetches had higher herbage mass nearer ground level.

As with NHA, the interaction between the pasture treatments and experimental periods was significant ($P < 0.05$) showing the plasticity referred to above, with LAS showing higher sward height in the two final periods compared to NLS, which had higher sward heights in the first two periods (Table 1).

Botanical composition

Common vetch in LAS represented a higher component of DM than winter vetch in NLS. This may be due to a better adaptation of the local common vetch used to the dry season and agroecological conditions, compared to the Naomi winter vetch imported from Canada that represented a mean of just over 10% of DM in NLS.

Festulolium on the other hand represented the highest component of DM in NLS, at over 50%, contributing to the 16% (although not statistically significant) higher yields observed in NLS compared to LAS representing festulolium and interesting grass for further research on the role this hybrid may play in small-scale dairy systems.

Grass predominance in associated pastures with legumes is common, both in temperate areas like reports by Lemus Ramírez *et al.* (2002) in Mexico where the proportion of temperate grasses (*Lolium perenne*, *Dactylis glomerata*, and *Festuca arundinaceae*) was higher than the associated legume (*Medicago sativa*); or in tropical conditions as reported by Akapali *et al.* (2018) in Ghana where grasses represented almost 73% of pasture DM, compared to 16.5% for associated legumes, and 10.8% of other plants.

Chemical composition of pastures

Herbage from both pastures was similar in chemical composition, with high energy content that decreased as the experiment progressed, but that met the metabolizable energy requirements of experimental cows with low milk yields. However, CP content was low at 100g/kg DM, similar to reports by Flores-Nájera *et al.* (2016) for associations of common oat with common vetch.

CP content, lower in LAS than NLS, remained constant for three experimental periods, increasing in P4. PC content in those three periods agrees with findings reported by Flores-Nájera *et al.* (2016) on associations of common vetch with small-grain cereals (barley, oat, and triticale).

CP content also agrees with Hernández-Ortega *et al.* (2011) who evaluated annual ryegrass associated with winter or common vetch for silage, reporting CP contents between 98 and 112 g/kg DM, similar to results in this experiment.

NDF and ADF content was slightly higher in P1 and P4. However, fibre content did not affect IVDMD or IVOMD, with very similar eME content in both herbage; although *in vitro* digestibility values were lower than reports from Hernández-Ortega *et al.* (2011), Celis-Álvarez *et al.* (2016), and Burbano-Muñoz *et al.* (2018).

The lower digestibility observed may be due to the lower digestibility of vetches compared with clovers; as reported by Castro-Montoya and Dickhoefer (2017) for tropical legumes; but were higher than digestibilities reported by Mwendia *et al.* (2017) for winter oat forage in Kenia.

Estimated ME content was higher than results from Celis-Alvarez *et al.* (2016) for perennial ryegrass – white clover with common oat herbage, but lower than reports by Plata-Reyes *et al.* (2018) from pastures of a subtropical and three temperate grasses associated with white clover.

Animal variables

There were no significant differences ($P>0.05$) for any of the animal variables evaluated, showing both pastures proved similar for dairy production in these systems.

Mean daily milk yield for the experimental cows was 9.9 kg/cow in the dry season, lower than reported by Celis-Álvarez *et al.* (2016) in the same study area, although with higher concentrate supplementation; but higher to milk yields reported by Mwendia *et al.* (2018) from the evaluation of oat forage in Kenia.

Economic analyses

High feeding costs due to reliance on external inputs have been identified as limiting the sustainability of these small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico, and the

provision of quality pastures and forages has been identified as viable ways to improve profitability and sustainability of these farms (Prospero-Bernal *et al.* 2018).

Feeding costs were higher and income over feed costs lower in the work herein reported than in the study by Prospero-Bernal *et al.* (2017) for small-scale dairy farms that implemented grazing of their pastures, although these author note how the cost of inputs has increased over time at a higher rate than prices paid for milk.

Costs are similar to those reported by Mwendia *et al.* (2018) in the African context of Kenia, pointing to the many commonalities shared by small-scale dairy farmers in different countries.

Higher input costs, coupled with the low milk yields in this experiment, resulted in income over feed costs ratios that, although positive at US\$ 1.80, are lower than in other studies Garduño-Castro *et al.* (2009); Celis Álvarez *et al.* (2016); Burbano-Muñoz *et al.* (2018).

These results emphasize the conclusion from Mwendia *et al.* (2018) on the importance of improving feeding strategies in small-scale dairy systems by quality pastures and forages.

Conclusions

Both short-term pastures had similar agronomic performance, with no differences in NHA but with different botanical composition over time, and a significant interaction between pasture treatments and time (experimental periods) which show how different pastures species may complement each other given their plasticity in order to have a more stable herbage supply over the dry season.

However, the difficult availability and higher price of seeds in the NLS pastures limit their adoption. If further studies on the evaluated species like festulolium and black oat confirm their positive agronomic characteristics for these systems, increased demand may make these seeds locally available, as it has happened with Westerwolds annual ryegrass which is now widely available in the local agricultural shops.

Acknowledgments

The authors express gratitude to the participating farmer and his family whose privacy is respected by not disclosing their names. This work was undertaken thanks to funding by the Universidad Autónoma del Estado de México (grant 3676/2014-CIA), and the project

‘Evaluación de la sustentabilidad de sistemas de producción de leche en pequeña escala’ [Assesment of the sustainability of small-scale dairy systems] funded by the Mexican Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (National Council for Science and Technology – CONACYT (grant 129449 CB-2009). Our gratitude is also extended to CONACYT for a postgraduate studies grant.

ORCID

Ernesto Sánchez-Vera <https://orcid.org/0000-0001-9748-4854>

Carlos Galdino Martínez-García <https://orcid.org/0000-0001-9924-3376>

Felipe López-González <http://orcid.org/0000-0001-7769-3755>

Carlos Manuel Arriaga-Jordán <https://orcid.org/0000-0002-6140-0847>

References

- AFRC (Agricultural and Food Research Council). 1993. *Energy and protein requirements for ruminants*. Wallingford: CAB International.
- Akapali M, Ansah T, Abdul-Rahman II, Alenyorege B, Baatuuwie BN. 2018. Seasonal changes in pasture biomass and grazing behaviour of cattle in the Guinea Savanna agroecological zone of Ghana. *African Journal of Range and Forage Science* 35: 101-108.
- Anaya-Ortega JP, Garduño-Castro G, Espinoza-Ortega A, Rojo-Rubio R, Arriaga Jordán CM. 2009. Silage from maize (*Zea mays*), annual ryegrass (*Lolium multiflorum*) or their mixture in the dry season feeding of grazing dairy cows in small-scale dairy production systems in the Highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production* 41: 607-616.
- Burbano-Muñoz VA, López-González F, Flores-Estrada JG, Sainz-Sánchez PA, Arriaga-Jordán CM. 2018. Oat silage for grazing dairy cows in small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. *African Journal of Range and Forage Science* 35: 63-70.
- Castro-Montoya J, Dickhoefer U. 2018. Effects of tropical legume silages on intake, digestibility and performance in large and small ruminants. *Grass Forage Science* 73: 26-39.

- Celis-Álvarez MD, López-González F, Martínez-García CG, Estrada-Flores JG, Arriaga-Jordán CM. 2016. Oat and ryegrass silage for small-scale dairy systems in the highlands of central México. *Tropical Animal Health and Production* 48: 1129–1134.
- Conroy C. (2005) *Participatory Livestock Research*. Bourton-on-Dunsmore, Warwickshire: ITDG Publishing.
- Ergon Å, Kirwan L, Bleken MA, Skjelvåg AO, Collins RP, Rognli OA. 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.
- Espinoza-Ortega A, Espinosa-Ayala E, Bastida-López J, Castañeda-Martínez T, Arriaga-Jordán CM. 2007. Small-scale dairy farming in the highlands of central Mexico: technical, economic and social aspects and their impact on poverty. *Experimental Agriculture* 43: 241–256.
- Flores-Nájera MDJ, Sánchez-Gutiérrez RA, Echavarría-Cháirez FG, Gutiérrez-Luna R, Rosales-Nieto CA, Salinas-González H. 2016. Forage production and quality of common vetch mixtures with barley, oat and triticale in four phenological stages. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 7: 275-291.
- Garduño-Castro Y, Espinoza-Ortega A, González-Esquivel CE, Mateo-Salazar B, Arriaga-Jordán CM. 2009. Intercropped oats (*Avena sativa*) - common vetch (*Vicia sativa*) silage in the dry season for small-scale dairy systems in the highlands of Central Mexico. *Tropical Animal Health and Production* 41:827–834.
- Hernández-Ortega M, Heredia-Nava D, Espinoza-Ortega A, Sánchez-Vera E, Arriaga-Jordán CM. 2011. Effect of silage from ryegrass intercropped with winter or common vetch for grazing dairy cows in small-scale dairy systems in Mexico. *Tropical Animal Health and Production* 43: 947-954.
- Hoogendoorn, CJ, Newton PCD, Devantier BP, Rolle BA, Theobald PW, LLoyd-West CM. 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 and Environment* 217: 22–32.

- Lemus-Ramírez V, García-Muñiz J, Lugo-León S, Valencia-Gutiérrez E, Villagrán-Vélez B. 2002. Desempeño de una pradera irrigada en clima templado, establecida para el pastoreo con bovinos lecheros. *Veterinaria México* 33:1 11-26.
- Lithourgidis AS, Dhima KV, Vasilakoglou IB, Dordas CA, Yiakoulaki MD. 2007. Sustainable production of barley and wheat by intercropping common vetch. *Agronomy for sustainable development* 27: 95-99.
- Martínez-García CG, Rayas-Amor A, Anaya-Ortega JP, Martínez-Castañeda FE, Espinoza-Ortega A, Prospero-Bernal F, Arriaga-Jordán CM. 2015. Performance of small-scale dairy farms in the highlands of central Mexico during the dry season under traditional feeding strategies. *Tropical Animal Health and Production* 47: 331-337.
- Mousavi, S. R., & Eskandari, H. (2011). A general overview on intercropping and its advantages in sustainable agriculture. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, 1(11), 482-486.
- Mwendia SW, Maass BL, Njenga GD, Nyakundi NF, Notenbaert OAM. 2017. Evaluating oat cultivars for dairy forage production in the central Kenyan highlands. *African Journal of Range and Forage Science* 34: 145-155.
- Mwendia SW, Mwangi CM, Karanja-Ng'ang'a S, Njenga D, Notenbaert A. 2018. Effect of feeding oat and vetch forages on milk production and quality in smallholder dairy farms in Central Kenya. *Tropical animal health and production* 50: 1051-1057.
- Njarui DM, Gatheru M, Gichangi EM, Nyambati EM, Ondiko CN, Ndungu-Magiroi, KW. 2017. Determinants of forage adoption and production niches among smallholder farmers in Kenya. *African Journal of Range and Forage Science* 34: 157-166.
- Obispo NE, Espinoza Y, Gil JL. 2004. El diseño cruzado: un diseño para la experimentación con vacas lecheras. *Zootecnia Tropical* 22: 384-401.
- Olivo CJ, Santos JCD, Quattrin MP, Simonetti GD, Seibt DC, Diehl DM. 2016. Forage mass and nutritive value of bermuda grass mixed to forage peanut or common vetch. *Acta Scientiarum. Animal Sciences* 38: 255-260.

- Pérez-Ramírez E, Peyraud JL, Delagarde R. 2012. N-alkanes vs. 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: 232-244.
- Plata-Reyes DA, Morales-Almaraz E, Martínez-García CG, Flores-Calvete G, López-González F, Prospero-Bernal F, Valdez-Ruiz CL, Zamora-Juárez YG, Arriaga-Jordán CM. 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*. <https://doi.org/10.1007/s11250-018-1621-8>
- Prospero-Bernal F, Martínez-García CG, Olea-Pérez R, López-González F, Arriaga-Jordán CM. 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: 1537–1544.
- Sainz-Sánchez PA, López-González F, Estrada-Flores JG, Martínez-García CG, Arriaga-Jordán CM. 2017. Effect of stocking rate and supplementation on performance of dairy cows grazing native grassland in small-scale systems in the highlands of central Mexico. *Tropical Animal Health Production* 49:179–186.
- Sánchez-Gutiérrez AR, Gutiérrez-Bañuelos H, Serna-Pérez A, Gutiérrez-Luna R, Espinoza-Canales A. 2014. Yield and forage quality of oats varieties under rainfed conditions in Zacatecas, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 5: 131-142.
- Schellberg J. and Pontes L. da S. 2012. Plant functional traits and nutrient gradients on grassland. *Grass and Forage Science* 67: 305–319.
- Stout DG, Brooke B, Hall JW, Thompson DJ. 1997. Forage yield and quality from intercropped barley, annual ryegrass and different annual legumes. *Grass and Forage Science* 52: 298–308.

8.3 ESTANCIA DE INVESTIGACIÓN CIAM

REPORTE DE ACTIVIDADES DE LA ESTANCIA ACADÉMICA

Las actividades en el Centro de Investigaciones Agrarias Mabegondo (CIAM) se realizaron desde el momento de nuestra llegada el día 14 de abril al 10 de julio de 2018. En ese momento se desarrollaban en la estación experimental sita en Mabegondo (Abegondo, A Coruña) tres experimentos diferentes dentro del grupo de producción de leche y valor nutritivo de forrajes, a cargo del Dr. Gonzalo Flores Calvete, jefe del departamento de Pastos y Cultivos del CIAM y del Dr. César Resch Zafra, investigador responsable del área de producción de leche de vacuno:

A) Evaluación de estrategias (Dairy-4-Future). Pertenece a un proyecto de investigación europeo en las zonas agropecuarias del arco Atlántico, en este experimento se evaluaron 5 estrategias de alimentación de las cuales 3 fueron en estabulado continuo y 2 estrategias de pastoreo continuo rotacional, conformando los tratamientos (estrategias de alimentación);

Tx1: Ensilado de maíz + ensilado de rieggrass italiano (*Lolium multiflorum*).

Tx2: Ensilado de maíz + ensilado de rieggrass italiano y 4 leguminosas (*Trifolium risupinatum*, *Trifolium incarnatum*, *Trifolium micheliano*, *Ornithopus serradella*).

Tx3: Ensilado de sorgo (*Sorghum spp.*) + ensilado de rieggrass con 4 leguminosas (*Trifolium risupinatum*, *Trifolium incarnatum*, *Trifolium micheliano*, *Ornithopus serradella*).

Tx4: Pastoreo día y noche pradera de trevol violeta (*Trifolium pratense L.*) asociada con rieggrass híbrido (*Lolium multiflorum* x *Lolium perenne*).

Tx5: Pastoreo día y noche en una pradera de rieggrass inglés.

En el ensayo se evaluaron los resultados productivos de las diferentes estrategias de alimentación utilizadas en Galicia, las unidades experimentales son vacas Holstein durante una lactación completa.

Nuestras actividades en este proyecto consistieron en suministrar las raciones pesando el alimento mediante comederos que registraban el alimento ofrecido. Los comederos

registraban el número de vaca, cantidad de alimento ingerido y tiempo de consumo, los datos eran capturados y revisados diariamente para verificar que no existieran errores en los datos recabados. El total de la ración (Cuadro 2) por tratamiento era distribuido diariamente en tres comederos y retirado el alimento rechazado.

Cuadro 2. Formulación de la dieta para los grupos en estabulado es:

Grupo	EM	ERI	R4L	ES	HN	CC	SY	Total
Tx1 (Kg)	180	208	0	0	4	6	24	422
Tx 2 (Kg)	165	0	244	0	3	15	15	442
Tx 3 (Kg)	0	0	211	273	3	27	15	493

EM Ensilado de maíz, ERI Ensilado de rieggrass inglés, R4L Ensilado de 4 leguminosas, ES ensilado de sorgo, HN heno, CC concentrado, SY soya. TX 4 y 5 permanecen en estabulado continuo rotacional.

Las actividades siguientes consistían en realizar mediciones de las praderas utilizadas para el pastoreo en los tratamientos 4 y 5, las praderas se manejaban con pastoreo rotacional día y noche, se medían las superficies a pastorear y se recolectaban muestras de pradera los días lunes, miércoles y viernes.

Evaluación de las raciones y praderas

Estabulado: Los piensos que se suministraban a las vacas en estabulado eran analizados semanalmente, las muestras se colectaban obteniendo pienso de cada uno de los tres comederos, por tratamiento entre 300-600 g. Posteriormente de las muestras se obtenía Materia seca MS y composición química MO, PC, FAD, FND, DIG, mediante espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS).

Pastoreo: Se estimó el rendimiento de forraje y la oferta pre y post pastoreo de los tratamientos Tx4 y Tx5. Se realizaron cortes de manera aleatoria para estimar acumulación neta de forraje utilizando un cuadrante de 0.36m². Los cortes pre y post pastoreo fueron tomados en cada parcela, 3 cortes post pastoreo por tratamiento, 3 cortes pre-pastoreo por

tratamiento, los costes se realizaban 3 días por semana con un intervalo de un día entre cortes y fines de semana sin corte.

El criterio para la rotación de las praderas fue la altura del forraje post-pastoreo la cual se determinó mediante dos métodos la medición con una regla para medir la altura de los forrajes (6 mediciones por corte) y una línea diagonal sobre la pradera (20 mediciones), además de un medidor de plato ascendente (1 medición por corte). Las superficies para pastorear fueron de aproximadamente 15 x 20 m, sin embargo, las medidas del área podían variar dependiendo de la altura y densidad del forraje. Además de los cortes para estimar rendimiento se colectaba una muestra general del forraje 300-350 g mediante la técnica pastoreo simulado, esta última muestra se analizaba para determinar su composición química y calidad nutricional.

Composición química: se determinó mediante las muestras colectadas con pastoreo simulado, se determinó materia seca mediante una estufa de secado y posteriormente la composición química utilizando NIRS (Near infrared spectroscopy).

Se estimó también la densidad de los cultivos mediante muestras de suelto circulares de 5 cm de diámetro, 5 muestras por cuadrante/ día, (45 muestras por TX/semana), realizando el conteo de tallos de las especies sembradas y las especies arvenses.

Participamos en la recolección de las muestras de las praderas y piensos, apoyando al equipo diariamente, colaboramos alimentando a las vacas participantes de los tratamientos, cortando las praderas y colectando el pastoreo simulado, además de realizar la preparación de las muestras para determinación de materia seca y composición botánica de las muestras tomadas los días lunes, miércoles y viernes.

B) Experimento (Conecta Souto). Se trata de un proyecto de colaboración con una empresa del sector agroforestal interesada en evaluar el efecto de la suplementación de la dieta del ganado vacuno lechero con aceites esenciales extraídos de especies arbóreas cultivadas en Galicia sobre la producción y composición de la leche. Los tratamientos fueron cuatro, relativos al tipo de aceite esencial aplicado a una dieta mixta conformada con forrajes y concentrado (70% y 30%, respectivamente, de la materia seca total ofertada), procedente de

castaño europeo (*Castanea sativa* Mill.), eucalipto (*Eucalyptus globulus* L.) y pino (*Pinus sylvestris* L.), más un control sin aditivo.

Los grupos están conformados por 5 vacas en cada grupo, siendo medido el consumo de cada grupo diariamente, por pesada del total de la ración (mezcla de ingredientes en carro picador-mezclador) ofrecida a los animales y el rechazo del día siguiente. El rendimiento de leche de cada vaca se midió diariamente y se tomaron muestras de leche de cada vaca en cada ordeño una vez por semana. Las muestras de leche de cada vaca se analizaron para composición fisicoquímica por métodos espectrométricos (FTMIR) siguiendo las rutinas analíticas del Laboratorio Interprofesional Gallego de Análisis de Leche (LIGAL) y el perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases.

La dieta ofrecida a todos los grupos, a base de ensilado de trébol violeta, ensilado de maíz y concentrado, fue la misma, modificándose solamente el tipo de aceites esenciales aplicados a dosis de 1.5 g por vaca y día. Nuestras actividades comenzaban con este experimento todos los días en horario de las 08:00 am a 9:30am, se pesaron rechazos para calcular el consumo voluntario, se tomaban muestras semanales de la composición química de la dieta, además de muestras individuales de cada uno de los ingredientes, complementario a esta actividad un día a la semana se preparaban bolsas de 1 kg con cada uno de los extractos y grupo control, se estimó el consumo de 1 gramo de ingrediente activo por vaca/día.

C) Evaluación del rendimiento productivo y calidad en distinta época de corte. Se evaluaron y compararon dos tratamientos uno con raigras híbrido (*Lolium multiflorum* x *Lolium perenne*) y Mezcla R3L compuesta por raigras italiano (*Lolium multiflorum*) con 3 leguminosas trébol encarnado (*Trifolium incarnatum*), Trébol Persa (*Trifolium resupinatum*), Trébol micheliano (*Trifolium michelianus*). Se utilizaron 2 parcelas una para cada tratamiento. El diseño experimental fue un diseño aleatorio con bloques al azar en donde cada bloque correspondía a las repeticiones por tratamiento, con un total de 25 unidades experimentales, se realizaban 5 cortes uno por semana durante 5 semanas. El tamaño total de cada parcela fue de 37 x 27 m, subdivididas en 25 cuadrantes de 3 x 5 m.

Se realizaron análisis de rendimiento y composición química, el rendimiento se determinó pesando la producción por corte y determinando la superficie midiendo con un flexómetro el área de corte. La finalidad de este ensayo fue la determinación de la curva de calidad con respecto a la semana de corte de las mezclas para ello se propuso comparar los resultados de rendimiento en t MS ha contra la composición química MO, PC, FND, FAD, DMO.

En este ensayo realizamos los cortes y mediciones con ayuda de los trabajadores del CIAM además, de realizar la preparación de muestras para determinación de materia seca y composición botánica.

D) Evaluación de la ensilabilidad y calidad del ensilado de la mezcla R3L y riegras híbrido en distintas épocas de corte.

Utilizando muestras recogidas del experimento R3L vs Riegras híbrido se realizaron microsilos con los cuales se estimará la ensilabilidad de ambas mezclas y su composición química en las distintas semanas de corte. El objetivo del ensayo fue evaluar la relación entre la fecha de corte del forraje-la calidad y su ensilabilidad. En este ensayo se colaboró preparando las muestras colectadas, primero fueron molidas y después fueron depositadas en los microensilados. Se recolecto el efluente para determinar las pérdidas de líquido.

E) Practica en el registro de espectros NIRS.

Participamos en el análisis de muestras mediante NIRS, preparando y analizando una serie de las muestras. El equipo obtiene los espectros de las muestras para posteriormente transformarlos mediante una base de mediciones y una ecuación de regresión en predicciones de valor nutricional.

Resultados

Los resultados de los ensayos en los que se participó aún no se encuentran disponibles, una vez que los resultados se encuentren disponibles colaboraremos para la redacción y presentación del trabajo titulado “**Caracterización del valor nutricional y contenido de ácidos grasos en pasto riegrass inglés asociado con trébol violeta consumido en pastoreo de primavera**”.

IX. CONCLUSIONES

A partir de la evidencia obtenida durante el estudio se concluye que, ambas mezclas al ser sembradas y pastoreadas durante la temporada de invierno, presentaron una producción y calidad de forraje similares. Como consecuencia, no se encontró una diferencia significativa en la producción animal. Sin embargo, la producción de leche mostró un ligero incremento durante el estudio, lo cual indica que las mezclas pudieron satisfacer los requerimientos nutricionales de vacas en sistemas de producción de leche en pequeña escala. Al ser ambas mezclas similares en su producción y calidad fue necesario considerar el aspecto económico (costos y beneficios) para concluir cuál de las dos mezclas fue más rentable. Por lo tanto, desde la perspectiva de rentabilidad, la mezcla convencional fue la que presentó el menor costo de establecimiento. Es por lo tanto posible concluir que esta última es una opción rentable desde el punto de vista económico para los SPLPE durante la temporada de invierno. Esto debido a que puede contribuir a la producción de forraje de calidad, teniendo como consecuencia la reducción de la compra de insumos externos (concentrados) por parte de los productores, aumentando la eficiencia económica de los sistemas durante la temporada de invierno.

Algunas implicaciones evidenciadas a partir del estudio son: La identificación del efecto de adaptación a las condiciones ambientales de la región de cada especie y como afecta el rendimiento de la mezcla. Debido a esto, se propone evaluar en estudios posteriores mezclas con distintas dosis de siembra para identificar cuál la dosis produce un mejor rendimiento al menor costo de establecimiento. Además, de la determinación de composición química individual de los componentes para conocer el aporte de nutrientes de cada especie a la mezcla.

El presente estudio contribuye con el propósito del proyecto ‘Evaluación de la sustentabilidad de sistemas de producción de leche en pequeña escala’ con la aportación de una alternativa para la producción de forraje durante la temporada de invierno, además aporta información sobre el potencial productivo de especies emergentes en México y su viabilidad en la incorporación de estrategias de producción los sistemas más abundantes en el país (SPLPE).

X. LITERATURA CITADA

- AFRC. 1993. Animal and food research council. Energy, and protein requirements of ruminants, CAB International, Wallingford, UK. 159.
- Aguilar-López EY, Bórquez JL, Domínguez VI, Morales-Osorio A, Gutiérrez-Martínez MG, González-Ronquillo M. 2013. Chemical composition and in vitro gas production of forage cereals associated with common vetch (*Vicia sativa*). *Journal of Agricultural Science*. Vol. 5, No. 2.
- Al-Masri MR. 1998. Yield and nutritive value of vetch (*Vicia sativa*)-barley (*Hordeum vulgare*) forage under different harvesting regimens. *Tropical Grasslands*, 32, 201-206.
- Anaya-Ortega JP, Garduño-Castro G, Espinoza-Ortega A, Rojo-Rubio R, Arriaga Jordán CM. 2009. Silage from maize (*Zea mays*), annual ryegrass (*Lolium multiflorum*) or their mixture in the dry season feeding of grazing dairy cows in small-scale dairy production systems in the Highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 41, 607-616.
- ANKOM. 2005. Procedures (for NDF and ADF). Ankom Technology Method. (<http://www.ankom.com/> Accessed 15 June 2015).
- AOAC. 2005. Official methods of analysis. 15th ed. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemists.
- Arriaga-Jordán CM, Flores-Gallegos FJ, Peña-Carmona G, Albarrán-Portillo B, García-Martínez A, Espinoza-Ortega A, Gonzalez-Esquivel CE, Castelán-Ortega OA. 2001. Participatory on-farm evaluation of the response to concentrate supplementation by cows in early lactation in smallholder peasant (campesino) dairy production systems in the highlands of central Mexico. *Journal of Agricultural Science*. 137, 97–103.
- Bobadilla MM, Gámez-Vázquez AJ, Ávila-Perches MA, García Rodríguez JJ, Espitia RE, Moran Vázquez N, Covarrubias PJ. 2013. Rendimiento y calidad de semilla de avena en función de la fecha y densidad de siembra. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(7), 973-985. Disponible en

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000700001&lng=es&tlng=es. Consultado: noviembre de 2018.

- Burbano-Muñoz VA, López-González F, Flores-Estrada JG, Sainz-Sánchez PA, Arriaga-Jordán CM. 2018. Oat silage for grazing dairy cows in small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. *African Journal of Range and Forage Science* 35: 63-70.
- Celis-Álvarez MD, López-González F, Martínez-García CG, Estrada-Flores JG, Arriaga-Jordán CM. 2016. Oat and ryegrass silage for small-scale dairy systems in the highlands of central México. *Tropical Animal Health and Production*. 48:1129–1134.
- CONROY C. 2005. *Participatory Livestock Research*. Bourton-on-Dunsmore, Warwickshire, Reino Unido: ITDG Publishing.
- Ergon Å, Kirwan L, Bleken MA, Skjelvåg AO, Collins RP, Rognli OA. 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.
- Espinoza-Ortega A, Espinosa-Ayala E, Bastida-López J, Castañeda-Martínez T, Arriaga-Jordán CM. 2007. Small-scale dairy farming in the highlands of central Mexico: technical, economic and social aspects and their impact on poverty. *Experimental Agriculture* 43: 241–256.
- FEDNA. 2018. Fundación Española para el desarrollo de la nutrición animal. Factores anti-nutricionales veza. Disponible en http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/veza-com%C3%BA Consultado 06 de junio de 2018.
- Fadul-Pacheco L, Wattiaux MA, Espinoza-Ortega A, Sánchez-Vera E, Arriaga-Jordán CM. 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.
- FAOa. 2016. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Ecocrop: Identify a suitable crop for a specified environment. *Vicia sativa spp. sativa* Disponible en:

<http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/cropView?id=238003> Consultado: 02 julio 2017.

FAOb. 2016. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Ecocrop: Identify a suitable crop for a specified environment. *Vicia villosa* spp. *Villosa*. Disponible en: <http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/cropView?id=238009> Consultado: 02 julio 2017.

FAO. 2001. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Sistemas de Producción Agropecuaria y Pobreza. Cómo mejorar los medios de subsistencia de los pequeños agricultores en un mundo cambiante. Ed.Malcolm Hall. Roma y Washington DC.

FAO. 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Rome: FAO.

Flores-Nájera MDJ, Sánchez-Gutiérrez RA, Echavarría-Cháirez FG, Gutiérrez-Luna R, Rosales-Nieto CA, Salinas-González H. 2016. Forage production and quality of common vetch mixtures with barley, oat and triticale in four phenological stages. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 7: 275-291.

Flores-Ortiz MA., Gutiérrez-LR, Palomo RM. 2007. Veza común y *Lathyrus sativus* L. Alternativas para producir forraje en Zacatecas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Norte-Centro, Campo experimental Zacatecas. Folleto Científico No. 13. ISBN: 978-970-43-0281-8.

Garduño-Castro Y, Espinoza-Ortega A, González-Esquivel CE, Mateo-Salazar B, Arriaga-Jordán CM. 2009. Intercropped oats (*Avena sativa*) - common vetch (*Vicia sativa*) silage in the dry season for small-scale dairy systems in the highlands of Central Mexico. *Tropical Animal Health and Production*. 41:827–834.

Garrigós AR, Lusarreta MCA, Ortiz LT, Barro C, Membibre MLR, Caballero R. 2004. Yields and chemical composition of different parts of the common vetch at flowering and at two seed filling stages. *Spanish Journal of Agricultural Research*, (4), 550-557.

- Haffani S, Mezni M, Slama I, Ksontini M, Chaïbi W. 2014. Plant growth, water relations and proline content of three vetch species under water-limited conditions. *Grass and Forage Science*, 69(2), 323-333.
- Heredia-Nava D, Espinoza-Ortega A, González-Esquivel CE, Arriaga-Jordán CM. 2007. Feeding strategies for small-scale dairy systems based on perennial (*Lolium perenne*) or annual (*Lolium multiflorum*) ryegrass in the central highlands of Mexico. *Tropical Animal Health Production*. 39:179–188.
- Hernández-Laos E. 2000. La industria láctea de México en el contexto del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN). BID-INTAL, Buenos Aires, Argentina, 100.
- Hernández-Ortega M, Heredia-Nava D, Espinoza-Ortega A, Sánchez- Vera E, Arriaga-Jordán CM. 2011. Effect of silage from ryegrass intercropped with winter or common vetch for grazing dairy cows in small-scale dairy systems in Mexico. *Tropical Animal Health and Production* 43: 947-954.
- Hodgson J. 1994. Manejo de pastos. Teoría y práctica (Editorial Diana. México)
- INEGI. 2009. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Aculco, México. Clave geoestadística 15003. Disponible en: de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/15/15003.pdf> Consultado 22 de octubre de 2016.
- Lemus-Ramírez V, García-Muñiz J, Lugo-León S, Valencia-Gutiérrez E, Villagrán-Vélez B. 2002. Desempeño de una pradera irrigada en clima templado, establecida para el pastoreo con bovinos lecheros. *Veterinaria México* 33:1 11-26.
- Lithourgidis AS, Dhima KV, Vasilakoglou IB, Dordas CA, Yiakoulaki MD. 2007. Sustainable production of barley and wheat by intercropping common vetch. *Agronomy for sustainable development* 27: 95-99.
- López-González F, Rosas-Dávila M, Celis-Alvarez MD, Morales-Almaraz E, Domínguez-Vara IA, Arriaga-Jordán CM. 2017. Milk production under grazing of different pasture

- grasses in small-scale dairy systems in the highlands of central México. *Journal of Livestock Science*. 8: 92-97.
- Lüscher A, Mueller-Harvey I, Soussana JF, Rees RM, Peyraud JL. 2014. Potential of legume-based grassland–livestock systems in Europe: a review. *Grass and Forage Science*, 69(2), 206-228.
- Martínez-García CG, Rayas-Amor A, Anaya-Ortega JP, Martínez-Castañeda FE, Espinoza-Ortega A, Prospero-Bernal F, Arriaga-Jordán CM. 2015. Performance of smallscale dairy farms in the highlands of central Mexico during the dry season under traditional feeding strategies. *Tropical Animal Health and Production*, 47, 331-337.
- Monsivais Morales KL. 2013. Crecimiento y productividad estacional de *Festuca arundinacea* Schreber, *Festulolium* sp. y *Lolium multiflorum* Lam. en una region semiarida. Tesis licenciatura. Facultad de agronomía y veterinaria. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Mwendia SW, Maass BL, Njenga GD, Nyakundi NF, Notenbaert OAM. 2017. Evaluating oat cultivars for dairy forage production in the central Kenyan highlands. *African Journal of Range and Forage Science* 34: 145-155.
- Mwendia SW, Mwangi CM, Karanja-Ng'ang'a S, Njenga D, Notenbaert A. 2018. Effect of feeding oat and vetch forages on milk production and quality in smallholder dairy farms in Central Kenya. *Tropical animal health and production* 50: 1051-1057.
- Njarui DM, Gatheru M, Gichangi EM, Nyambati EM, Ondiko CN, Ndungu-Magiroi, KW. 2017. Determinants of forage adoption and production niches among smallholder farmers in Kenya. *African Journal of Range and Forage Science* 34: 157-166.
- NRC. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle: 2001. 7th Ed. National Academies Press, USA.
- Ocampo A, Cardozo A, Tarazona A, Ceballos M, Murgueitio E. 2011. La investigación participativa en Bienestar y Comportamiento animal en el trópico de América: oportunidades para nuevo conocimiento aplicado. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, [en línea] 24(3), pp.332-346. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=295022382014> Consultado: Marzo 2018.

- Olivo CJ, Santos JCD, Quatrin MP, Simonetti GD, Seibt DC, Diehl DM. 2016. Forage mass and nutritive value of bermuda grass mixed to forage peanut or common vetch. *Acta Scientiarum. Animal Sciences* 38: 255-260.
- Plata-Reyes DA, Morales-Almaraz E, Martínez-García CG, Flores-Calvete G, López-González F, Prospero-Bernal F, Valdez-Ruiz CL, Zamora-Juárez YG, Arriaga-Jordán CM. 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*. <https://doi.org/10.1007/s11250-018-1621-8>
- Próspero-Bernal F, Salas-Reyes IG, Fadul-Pacheco L, Heredia-Nava D, Albarrán-Portillo B, Arriaga Jordán CM. 2015. Evaluación de la sustentabilidad de los sistemas de producción de leche en pequeña escala en dos zonas agroecológicas contrastantes del centro de México. Universidad Autónoma Chapingo.
- Prospero-Bernal F, Martínez-García CG, Olea-Pérez R, López-González F, Arriaga-Jordán CM. 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: 1537–1544.
- Ramírez-Ordóñez S, Domínguez-Díaz D, Salmerón-Zamora J, Villalobos-Villalobos G, Ortega-Gutiérrez J. 2013. Producción y calidad del forraje de variedades de avena en función del sistema de siembra y de la etapa de madurez al corte. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36 (4) 395-403. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61029714005> Consultado junio 2018.
- SAGARPA. 2016. Servicio de información agroalimentaria y pesquera, SIAP Panorama de la lechería en México. En línea: http://infosiap.siap.gob.mx/opt/boletlech/Brochure%20leche_Septiembre2016.pdf Consultado: 25 septiembre 2017
- Sainz-Sánchez PA, López-González F, Estrada-Flores JG, Martínez-García CG, Arriaga-Jordán CM. 2017. Effect of stocking rate and supplementation on performance of dairy cows grazing native grassland in small-scale systems in the highlands of central Mexico. *Tropical Animal Health Production* 49:179–186.

- Sánchez-Gutiérrez AR, 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):131-142.
- Stout DG, Brooke B, Hall JW, Thompson DJ. 1997. Forage yield and quality from intercropped barley, annual ryegrass and different annual legumes. *Grass and Forage Science* (1997) Volume 52, 298–308.
- Van-Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides and relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74: 3583-3587.
- Vilain L, Boisset K, Girardin P, Guillaumin A, Mouchet C, Viaux P, Zahm F. 2008. *La méthode IDEA: indicateurs de durabilité des exploitations agricoles: guide d'utilisation (troisième édition actualisée)*, (Educagri éditions, Dijon).
- Wiggins S, Tzintzun-Rascón R, Ramírez-González M, Ramírez-González R, Ramírez-Valencia FJ, Ortiz- Ortiz G, Piña-Cárdenas B, Aguilar-Barradas U, Espinoza-Ortega A, Pedraza-Fuentes AM, Rivera- Herrejón G, Arriaga-Jordán CM. 2001. Costos y retornos de la producción de leche en pequeña escala en la zona central de México. *La lechería como empresa*. Toluca, México. Serie Cuadernos de Investigación. Cuarta Época 19. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Wildman EE, Jones GM, Wagner PE, Boman RL, Trout HF, Lesch TN. 1982. A dairy cow body condition scoring system and its relationships to standard production characteristics. *Journal of Dairy Science*. 65:495-501.

XI. ANEXOS

Variables evaluadas:

Cuadro 5 Rendimiento de leche por vaca por periodo experimental

Observación	Secuencia	Vaca	Periodo	Tratamiento	Rendimiento kg vaca día ⁻¹
1	CACA	5769	1	C	6.2
2	CACA	5769	2	A	9.1
3	CACA	5769	3	C	9.1
4	CACA	5769	4	A	8.9
5	ACAC	8259	1	A	10.1
6	ACAC	8259	2	C	11.5
7	ACAC	8259	3	A	12.8
8	ACAC	8259	4	C	13.7
9	CACA	8260	1	C	8.5
10	CACA	8260	2	A	14.0
11	CACA	8260	3	C	13.3
12	CACA	8260	4	A	13.8
13	ACAC	8257	1	A	3.5
14	ACAC	8257	2	C	3.9
15	ACAC	8257	3	A	3.2
16	ACAC	8257	4	C	2.5
17	CACA	5768	1	C	7.7
18	CACA	5768	2	A	11.5
19	CACA	5768	3	C	11.6
20	CACA	5768	4	A	10.4
21	CACA	8262	1	C	8.1
22	CACA	8262	2	A	10.7
23	CACA	8262	3	C	9.8
24	CACA	8262	4	A	10.7
25	ACAC	6981	1	A	6.9
26	ACAC	6981	2	C	8.6
27	ACAC	6981	3	A	9.4
28	ACAC	6981	4	C	10.2
29	ACAC	8261	1	A	0.0
30	ACAC	8261	2	C	16.0
31	ACAC	8261	3	A	16.6
32	ACAC	8261	4	C	17.6

B) Peso

Cuadro 6 Peso por vaca y periodo experimental

Observación	Secuencia	Vaca	Periodo	Tratamiento	Peso (kg)
1	CACA	5769	1	C	415.0
2	CACA	5769	2	A	427.5
3	CACA	5769	3	C	417.5
4	CACA	5769	4	A	420.0
5	ACAC	8259	1	A	411.0
6	ACAC	8259	2	C	408.0
7	ACAC	8259	3	A	423.5
8	ACAC	8259	4	C	414.2
9	CACA	8260	1	C	370.5
10	CACA	8260	2	A	382.0
11	CACA	8260	3	C	402.5
12	CACA	8260	4	A	385.0
13	ACAC	8257	1	A	504.5
14	ACAC	8257	2	C	524.0
15	ACAC	8257	3	A	554.0
16	ACAC	8257	4	C	527.5
17	CACA	5768	1	C	415.0
18	CACA	5768	2	A	399.5
19	CACA	5768	3	C	423.5
20	CACA	5768	4	A	412.7
21	CACA	8262	1	C	418.5
22	CACA	8262	2	A	428.0
23	CACA	8262	3	C	454.0
24	CACA	8262	4	A	433.5
25	ACAC	6981	1	A	367.0
26	ACAC	6981	2	C	377.0
27	ACAC	6981	3	A	395.5
28	ACAC	6981	4	C	379.8
29	ACAC	8261	1	A	514.0
30	ACAC	8261	2	C	404.5
31	ACAC	8261	3	A	435.5
32	ACAC	8261	4	C	451.3

C) Condición corporal

Cuadro 7 Condición corporal por vaca por periodo.

Observación	Secuencia	Vaca	Periodo	Tratamiento	CC
1	CACA	5769	1	C	2.5
2	CACA	5769	2	A	3.0
3	CACA	5769	3	C	3.0
4	CACA	5769	4	A	3.0
5	ACAC	8259	1	A	2.0
6	ACAC	8259	2	C	3.0
7	ACAC	8259	3	A	3.0
8	ACAC	8259	4	C	3.0
9	CACA	8260	1	C	2.5
10	CACA	8260	2	A	3.0
11	CACA	8260	3	C	3.0
12	CACA	8260	4	A	3.0
13	ACAC	8257	1	A	3.5
14	ACAC	8257	2	C	4.0
15	ACAC	8257	3	A	4.0
16	ACAC	8257	4	C	4.0
17	CACA	5768	1	C	3.0
18	CACA	5768	2	A	3.5
19	CACA	5768	3	C	3.5
20	CACA	5768	4	A	3.0
21	CACA	8262	1	C	3.0
22	CACA	8262	2	A	3.5
23	CACA	8262	3	C	3.5
24	CACA	8262	4	A	3.5
25	ACAC	6981	1	A	3.0
26	ACAC	6981	2	C	3.0
27	ACAC	6981	3	A	3.0
28	ACAC	6981	4	C	3.5
29	ACAC	8261	1	A	4.0
30	ACAC	8261	2	C	3.0
31	ACAC	8261	3	A	3.0
32	ACAC	8261	4	C	2.5

D) Composición química de la leche

Cuadro 8 Composición química de la leche por periodo por vaca

Observación	Secuencia	Vaca	Periodo	Tratamiento	Grasa gr/kg	Solidos gr/kg	Proteína gr/kg	Lactosa gr/kg
1	CACA	5769	1	C	38.9	96.3	36.3	52.8
2	CACA	5769	2	A	45.4	84.3	32.0	46.0
3	CACA	5769	3	C	30.6	94.1	34.6	50.2
4	CACA	5769	4	A	24.5	98.8	37.2	54.2
5	ACAC	8259	1	A	27.5	87.9	33.1	48.2
6	ACAC	8259	2	C	30.6	80.5	30.4	44.1
7	ACAC	8259	3	A	35.6	91.5	34.5	50.0
8	ACAC	8259	4	C	31.2	99.0	36.9	53.7
9	CACA	8260	1	C	31.7	90.4	34.1	49.5
10	CACA	8260	2	A	33.1	81.0	30.7	44.3
11	CACA	8260	3	C	37.0	93.1	35.4	50.9
12	CACA	8260	4	A	29.2	95.1	35.7	52.3
13	ACAC	8257	1	A	39.7	97.8	36.9	53.5
14	ACAC	8257	2	C	38.3	87.5	33.1	47.8
15	ACAC	8257	3	A	34.2	89.5	34.7	49.8
16	ACAC	8257	4	C	22.1	94.0	35.3	51.6
17	CACA	5768	1	C				
18	CACA	5768	2	A	36.2	82.5	31.3	45.2
19	CACA	5768	3	C	29.5	86.9	32.2	42.7
20	CACA	5768	4	A	25.7	88.1	33.1	48.4
21	CACA	8262	1	C	36.9	97.5	36.8	53.3
22	CACA	8262	2	A	35.8	83.7	31.7	45.8
23	CACA	8262	3	C	27.0	88.1	30.8	42.6
24	CACA	8262	4	A	22.9	89.5	33.7	49.1
25	ACAC	6981	1	A	34.8	99.0	37.4	54.3
26	ACAC	6981	2	C	34.7	86.1	32.5	47.2
27	ACAC	6981	3	A	24.0	86.1	31.2	43.0
28	ACAC	6981	4	C	28.3	86.1	32.4	47.3
29	ACAC	8261	1	A				
30	ACAC	8261	2	C	25.1	81.4	30.7	44.7
31	ACAC	8261	3	A	31.9	89.7	35.0	47.4
32	ACAC	8261	4	C	21.4	87.4	32.9	48.2

Mezclas forrajeras en pastoreo en las estrategias de alimentación de sistemas de producción de leche en pequeña escala, durante la temporada de invierno