



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

EVALUACIÓN DE PRADERAS DE PASTO KIKUYO (*Pennisetum clandestinum/Cenchrus clandestinus*) EN TRANSICIÓN VERANO-OTOÑO, SOLO O ASOCIADO CON ALTA FESCUE (*Festuca arundinacea/Lolium arundinaceum*) EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE EN PEQUEÑA ESCALA

T E S I S

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

P R E S E N T A

MARÍA NAYELI MARÍN SANTANA

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, Octubre de 2019.



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

EVALUACIÓN DE PRADERAS DE PASTO KIKUYO (*Pennisetum clandestinum/Cenchrus clandestinus*) EN TRANSICIÓN VERANO-OTOÑO, SOLO O ASOCIADO CON ALTA FESCUE (*Festuca arundinacea/Lolium arundinaceum*) EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE EN PEQUEÑA ESCALA

T E S I S

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

P R E S E N T A

MARÍA NAYELI MARÍN SANTANA

COMITÉ TUTORAL:

DR. CARLOS MANUEL ARRIAGA JORDÁN

DR. FELIPE LÓPEZ GONZÁLEZ

DR. OMAR HERNANDEZ MENDO

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, Octubre de 2019.

DEDICATORIAS

A mi madre **Rosa** y a mi padre **Esteban**, por su confianza y paciencia, por su enorme apoyo en todo momento, mi gratitud por siempre.

A mis **hermanos** y **familia** en general por los buenos momentos y su cariño.

A todas y cada una de las personas que apoyaron este trabajo, por su apoyo en campo, laboratorio, escritura pero sobre todo por su gran compañerismo y **amistad**. ¡Gracias totales!

A todas y cada una de las personas que me apoyan e inspiran en salir adelante cada día, que confían y que están conmigo, mi cariño y agradecimiento siempre.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto de investigación “Evaluación de nuevas variedades de pastos y forrajes en estrategias de alimentación del ganado en sistemas de producción de leche en pequeña escala” financiado por la Universidad Autónoma del Estado de México. Con Clave UAEM: 4487/2018CI.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**, por la beca otorgada para la realización de mis estudios de posgrado.

Al **Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR)** y a todos los que lo conforman por permitirnos hacer uso de sus instalaciones para poder llevar a cabo este trabajo.

Al **Dr. Carlos Manuel Arriaga Jordán** por darme la oportunidad de ser parte de su equipo de investigación, por su enorme paciencia desde un principio, por su orientación en cada momento que se necesitaba, por su apoyo y aportaciones para este trabajo. ¡Mi respeto y agradecimiento siempre!

Al **Dr. Felipe López González** por su colaboración en cada momento de este trabajo, por su asesoría a la hora de interpretar los análisis estadísticos pero sobre todo por la enorme paciencia.

Al **Dr. Omar Hernández Mendo** por su dedicación, comentarios y correcciones a este trabajo.

A mis tutores del **Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (CIAM)** el **Dr. Gonzalo Flores Calvete** y el **Dr. Cesar Resch Zafra**, por su paciencia, enseñanzas y amabilidad en el tiempo compartido.

A la **T.L. Laura Edith Contreras Martínez** y a la **T.L. María de Lourdes Maya Salazar** del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), por su paciencia y apoyo durante la realización de los análisis de laboratorio.

A los productores participantes **Don Armando González Mejía** y **Don Hernán González Mejía** y a sus familias por su hospitalidad y disposición para realizar el trabajo de campo en sus unidades de producción, sin ellos no habría sido posible la realización de este trabajo.

A mis compañeros del ICAR integrantes del **Equipo de Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala**, por su apoyo durante la realización de este trabajo de investigación tanto en campo como en el laboratorio.

RESUMEN

Los sistemas de producción de leche en pequeña escala representan una herramienta viable para aliviar la pobreza en el medio rural, contribuyendo con el 37 % a la producción nacional. Sin embargo, el panorama actual es preocupante, por los altos costos en insumos externos, sobre todo en concentrados comerciales, es por ese motivo que es importante evaluar estrategias que mejoren la calidad de estos sistemas, haciendo uso de los recursos con los que se cuenta y que se pueda enfrentar al actual panorama. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del pastoreo continuo intensivo de una gramínea de clima subtropical; Kikuyo (*Pennisetum clandestinum/Cenchrus clandestinus*) (KY), solo y asociado a dos variedades de gramíneas de clima templado, *Festuca arundinacea* cv. TF33 (FATF) y *Festuca arundinacea* cv. Cajun II (FACJ), en la transición verano-otoño, en el altiplano central mexicano. Se utilizaron 9 vacas Holstein multíparas en lactación en un diseño de cuadro latino 3 x 3 repetido tres veces con periodos experimentales de 14 días cada uno, de los cuales diez fueron de adaptación a la dieta y cuatro de toma de muestras. Los tratamientos fueron T1= Kikuyo (KY) asociada con trébol blanco (*Trifolium repens*), T2= Kikuyo + Festuca alta cv. TF33 (FATF) asociada con trébol blanco, y T3= Kikuyo + Festuca alta (cv. Cajun II (FACJ) asociada con trébol blanco. Las vacas fueron suplementadas con 4.65 kg de materia seca (MS) de concentrado comercial con 20 % de proteína cruda (PC). Se evaluó el desempeño productivo, composición de la leche, la composición química y la composición botánica de las praderas. No hubo diferencias significativas ($P > 0.05$) para la altura, la acumulación neta de forraje. Hubo interacciones significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos y períodos experimentales para materia seca, materia orgánica y proteína cruda. Hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos y períodos para Fibra detergente neutro (FDN) y entre tratamientos para fibra detergente ácido (FDA). No hubo diferencias significativas ($P > 0.05$) para digestibilidad in vitro de la materia orgánica (DIVMO) y para energía metabolizable (EM). Ni en composición botánica. No hubo diferencias significativas ($P > 0.05$) para la producción de leche (19 kg / vaca / día) y la composición, aunque se detectaron diferencias ($P < 0.05$) para el peso vivo y la condición corporal. Se concluye que no hay ninguna ventaja en asociar Festuca alta con Kikuyo en el período de transición verano-otoño para sistemas de producción de leche

en pequeña escala y que el Kikuyo al ser un pasto que invade las praderas y no se le da ningún manejo, resulta una buena opción para la alimentación de vacas productoras de leche.

Palabras clave. Lechería pequeña escala, *Pennisetum clandestinum*, *Festuca arundinacea*, *Trifolium repens*.

SUMMARY

Small-scale dairy systems are a viable option to alleviate rural poverty that contribute 37% of national milk production. However, current scenarios is worrying due to the high cost of external inputs, particularly commercial concentrates. It is therefore important to assess strategies that improve conditions in these systems making use of farm resources in the face of the current panorama. The objective of the study was to assess the effect of continuous grazing of a subtropical Kikuyo grass (*Pennisetum clandestinum/Cenchrus clandestinus*) (KY), on its own or associated with two varieties of temperate grass, *Festuca arundinacea* cv.TF33 (FATF) and *Festuca arundinacea* cv. Cajun II (FACJ), during the autumn transition in the central highlands of Mexico. Nine Holstein multiparous cows were used in a 3 x 3 Latin Square design repeated three times with 14 day experimental periods, of which 10 were to adaptation to diets and 4 for recordings and sampling. Treatments were T1= Kikuyo (KY) associated with white clover (*Trifolium repens*), T2= Kikuyo + tall fescue (*Festuca arundinacea*) cv. TF33 (FATF), and T3= Kikuyo + tall fescue cv. Cajun II (FACJ) associated with white clover. Cows were supplemented with 4.65 kg dry matter (DM) of commercial concentrate with 20% crude protein (CP). Analyses were for pasture performance, chemical and botanical composition, and animal performance in terms of .milk yields and composition. There were no significant differences in sward height and net herbage accumulation. There were significant interactions ($P<0.05$) between treatments and experimental periods for dry matter, organic matter and curde protein. There were significant differences among treatments and among periods for neutral detergent fibre (NDF)($P<0.05$) , and between treatments for acid detergent fibre (ADF). There were no differences ($P>0.05$) for *in vitro* organic matter digestibility (IVOMD), metabolizable energy (ME), or botanical composition. There were no significant differences ($P>0.05$) for milk yield (19 kg/cow/day) or milk composition, although differences were detected ($P<0.05$) for live weight and body condition score. It is concluded there is no advantage in associating tall fescue with kikuyu grass in the summer-autumn transition period for small-scale dairy systems, and that kikuyu grass, that invades pastures and does not require management, is a good option for feeding milking dairy cows.

Keywords. Small-scale dairy farming, *Pennisetum clandestinum*, *Festuca arundinacea*, *Trifolium repens*.

INDICE

Contenido	página
I. INTRODUCCIÓN.....	10
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	13
2.1. Producción de leche a nivel mundial y en México	13
2. 1. 1. Sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE).....	14
2. 1. 2. Alimentación en los SPLPE	14
2. 2. Sequía y los posibles efectos del cambio climático	15
2. 2. 1. Transición verano-otoño y su efecto en los pastos.....	16
2. 3. Kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum/Cenchrus clandestinus</i>)	16
2. 4. Festuca alta (<i>Festuca arundinacea</i>)	17
2.4.1. <i>Festuca arundinacea</i> cv. Cajun II	17
2.4.2. <i>Festuca arundinacea</i> cv. TF33	18
2. 5. Trébol blanco (<i>Trifolium repens</i>).....	18
III. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	19
IV. JUSTIFICACIÓN.....	20
V. HIPÓTESIS.....	22
VI. OBJETIVOS.....	23
6. 1. Objetivo general.....	23
6. 2. Objetivos específicos.....	23
VII. MATERIALES Y MÉTODO.....	24
7.1 Área de estudio	24
7. 2. Variables de diseño y animales experimentales.....	24
7. 3. Praderas y manejo del pastoreo.....	25
7. 4. Periodos experimentales	25
7. 4. 1. Tratamientos	25
7. 5. Producción de forraje	26
7. 6. Composición botánica	27

7. 7. Composición química del forraje de pradera y complementos alimenticios	28
7. 7. 1. Análisis de laboratorio	28
7. 8. Producción animal	28
7. 8. 1. Peso vivo	29
7. 8. 2. Condición corporal	29
7. 9. Diseño experimental y análisis estadístico	29
VIII. RESULTADOS	31
8.1. Artículo enviado a la revista indexada: Tropical Animal Health and Production	31
8.2. Informe de actividades Estancia de investigación en el Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (CIAM)	59
8. 2. 1. Trabajo en campo	60
8. 2. 2. Trabajo en laboratorio	62
8. 2. 3. Elaboración de microsilos	63
IX. CONCLUSIONES GENERALES	65
IX. LITERATURA CITADA	66
X. ANEXOS	76
11.1. Datos pre-experimentales de las vacas usadas en el experimento	76
11. 2. Promedio de variables medidas de producción de forraje por tratamiento y periodo. 77	
11.2.1. Disponibilidad de forraje	77
11. 2. 2. Composición bromatológica (g/kg de MS) y estimación de Energía Metabolizable (MJ kg/MS)	78
11. 3. Promedio de variables medidas de producción de animal por tratamiento y periodo. 79	
11.3.1 Variables medidas en las vacas	79
11. 4. Promedio de las variables medidas de las características fisicoquímicas grasa, proteína y lactosa (g/kg) y Nitrógeno Ureico en Leche (mg/dL) de la leche por tratamiento y por periodo	81

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

ARTÍCULO

Table 1. Sward height and Net Herbage Accumulation (NHA).....	52
Table 2. Chemical composition, <i>in vitro</i> organic matter digestibility (IVOMD) and estimated metabolizable energy content (eME) of pastures and concentrate.....	53
Table 3. Botanical composition of pastures (g/kg DM).....	56
Table 4. Animal variables.....	57
Figure 1. Rainfall and mean temperature during the experiment.....	58

I. INTRODUCCIÓN

En México la producción de leche se lleva a cabo en tres sistemas principalmente; el de gran escala, la lechería tropical y la lechería en pequeña escala, este último caracterizado por unidades de producción con pequeñas superficies de tierra, cuentan con un máximo de 35 vacas y un mínimo de 3 más sus reemplazos, utilizan mayormente la mano de obra familiar, donde la venta de leche proporciona ingresos fundamentales a las familias productoras, complementándose con otras actividades o no, dentro o fuera de la unidad de producción (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007). De esta forma puede ser una herramienta viable tanto para impulsar el crecimiento económico como para reducir la pobreza y la necesidad de migrar a las ciudades (Heredia- Nava *et al.*, 2007; Martínez-García *et al.*, 2015).

Actualmente la producción agropecuaria enfrenta nuevas exigencias a nivel mundial, sobre todo en el enfoque sustentable basándose en tres contextos principales; ecológicos, económicos y sociales, siendo la escala económica la más trascendental en estos sistemas, considerada una importante limitante en el desarrollo de estos sistemas, por los altos costos y la baja eficiencia, ya que la alimentación abarca desde un 60 a un 90 % del total de los costos de producción (Fadul-Pacheco *et al.*, 2013).

La alimentación del ganado representa la mayor parte de la producción de los gastos sobre todo en la compra de alimentos concentrados, por lo que se deben desarrollar estrategias de alimentación adecuadas para estos sistemas. Ya que a nivel mundial los precios de la leche se encuentran bajos, por ello es una prioridad reducir los costos de producción en la medida posible (SIAP, 2015; Heredia-Nava *et al.*, 2007).

El pastoreo es la opción más viable para reducir los costos de alimentación y la dependencia a insumos externos que afectan la rentabilidad y la sustentabilidad de las unidades de producción en pequeña escala (Fadul-Pacheco *et al.*, 2013). Además, la alimentación basada en el pastoreo intensivo de praderas cultivadas, es una estrategia de baja inversión y alta producción de forraje de buena calidad, que además contribuye a conservar y restaurar el medio ambiente (Rao *et al.*, 2015).

Actualmente es importante considerar los efectos del cambio climático, como lo son las temperaturas elevadas, lluvias erráticas y escasas, todo esto sumado a los distintos factores agroecológicos (periodo de riego) y sociales (espacio de tierra y cantidad de animales) de las unidades de producción, por lo que es importante evaluar estrategias que sean más adaptables a estas condiciones.

Por ello es necesario encontrar variedades mejor adaptadas tanto al ambiente como a las condiciones de manejo; en cuanto a la disponibilidad de riego en los sistemas de producción de leche en pequeña escala, este es limitado lo que genera periodos de déficit hídrico en la época seca así como altas temperaturas; escenarios que podrían verse agravados a consecuencia del cambio climático.

En el altiplano central mexicano existen diferentes variedades de pastos que son adecuados para praderas cultivadas de riego para pastoreo del ganado lechero. El ballico perenne (*Lolium perenne*) es la opción forrajera de más alta calidad; sin embargo, no tolera el déficit hídrico y el mal manejo, por lo que se ha visto que pastos como Kikuyo (*Pennisetum clandestinum/Cenchrus clandestinus*) y Festuca alta (*Festuca arundinacea*) son más tolerantes a la falta de agua y altas temperaturas, además de su alta producción de forraje, rusticidad, y

resistencia (Scheneiter *et al.*, 2012), aunado a esto la variedad Cajun II y TF33 están libres de endófitos causantes de la festucosis en bovinos, ovinos y equinos.

Por lo que el objetivo principal de este estudio es evaluar la asociación de Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*/ *Cenchrus clandestinus*) con praderas de *Festuca arundinacea* libre de endófitos, considerando la transición de verano a otoño. Con respecto al rendimiento y composición química de la leche, condición corporal y peso vivo de vacas lecheras bajo pastoreo continuo intensivo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Producción de leche a nivel mundial y en México

La leche es una fuente de nutrientes ricos en energía, proteína, minerales y vitaminas que son indispensables para la alimentación humana (Juárez-Dávila *et al.*, 2017). En las últimas décadas, los países en desarrollo han aumentado la producción de leche a nivel mundial caracterizándose por que se produce en sistemas en pequeña escala y además contribuye a la seguridad alimentaria y nutrición de los hogares. Cerca de 150 millones de hogares en todo el mundo se dedican a la producción de leche siendo una fuente importante de ingresos en efectivo (FAO, 2016).

La producción de leche en México se lleva a cabo en tres sistemas, el de gran escala localizada principalmente en el centro-norte del país, la lechería tropical ubicada en las costas y la lechería en pequeña escala en el altiplano (Espinoza-Ortega *et al.*, 2005). Estos últimos representan al mayor número de unidades de producción especializadas en México aportando por arriba del 30 % de producción nacional (Martínez-García *et al.*, 2015).

México ocupó el lugar número 14 dentro de los países que más leche produce, en el año 2014, el Estado de México ubicado en el altiplano central, alberga el 13.5 % de la población nacional y ocupa solo el 1.14 % de la superficie del país, es el séptimo productor de leche a nivel nacional, y en su mayoría las unidades de producción son sistemas en pequeña escala (Prospero-Bernal *et al.*, 2017a). El 78 % de las unidades especializadas en producción de leche son sistemas en pequeña escala, aportando el 37 % de la producción de leche a nivel nacional (Prospero-Bernal *et al.*, 2017a)

Las regiones más importantes en la actividad lechera en el Estado de México son Zumpango-Cuautitlán, Texcoco y en cuarto sitio se encuentra el Noroeste del Estado de México en las cuencas de Aculco-Polotitlán y Jilotepec; seguidos por el Valle de Toluca (SIAP, 2010).

2. 1. 1. Sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE)

Las características principales de los sistemas de producción de leche en pequeña escala es que cuentan con hatos de entre 3 y 35 vacas en ordeña más sus reemplazos, la mano de obra es familiar en su mayoría, aunque en algunas épocas se contrata mano de obra externa. Sus ingresos principales se obtienen de la venta de leche, y cuentan con pequeñas superficies de tierra (Martínez-García *et al.*, 2015; Prospero *et al.*, 2017b).

Las razas que manejan son Holstein, Pardo Suizo, Criollo y sus cruzas (Espinoza *et al.*, 2005).

Los sistemas de producción de leche en pequeña escala generan empleos e ingresos diarios por lo que son considerados como una alternativa para el desarrollo rural (Juárez-Dávila *et al.*, 2017)

Sin embargo, estos sistemas presentan un gran problema que son los altos costos de producción y la baja adopción de innovaciones que brindan una mayor sustentabilidad económica como lo son las praderas cultivadas (Juárez-Dávila *et al.*, 2017).

2. 1. 2. Alimentación en los SPLPE

Los costos de alimentación en los sistemas de producción de leche en pequeña escala representan cerca del 70 al 90 % del total de los costos de producción. Dependiendo en gran medida del uso de insumos externos lo que ocasiona baja eficiencia económica (Prospero-Bernal *et al.*, 2017b)

Una opción viable para reducir los costos de alimentación es una mayor dependencia de forrajes de alta calidad que asegura bajos costos de producción, logrando así incrementar la productividad de las explotaciones pecuarias (Arriaga *et al.*, 1999; Heredia- Nava *et al.*, 2007).

En la alimentación de los hatos una de las ventajas del pastoreo es la baja inversión en las instalaciones, material y equipo así como los bajos costos con los que se puede operar. Se ha comprobado que con el pastoreo disminuyen los gastos en la alimentación al evitar el corte, acarreo, y provisión del forraje en las instalaciones, debido a que los animales cosechan su propio alimento, fertilizando la propia pradera ya que el estiércol se deposita directamente evitando así la acumulación de grandes cantidades de estiércol en un solo lugar, asegurando así su distribución. (Arriaga-Jordán *et al.*, 1999).

Por lo tanto, desarrollar estrategias de alimentación adecuadas para estos sistemas es una prioridad, siendo el pastoreo en praderas cultivadas como una alternativa tecnológica que asegura bajos costos de producción, favoreciendo una menor dependencia de insumos externos como lo son los concentrados comerciales (Heredia- Nava *et al.*, 2007).

2. 2. Sequía y los posibles efectos del cambio climático

En México las sequías podrían ser muy severas debido al cambio climático, se ha visto como las especies vegetales han acortado su ciclo de vida y de esta manera pueden producir semillas en un tiempo corto, con menos agua, y con temperaturas altas (Özcan *et al.*, 2015). Existen variedades de gramíneas que tienen un mayor rendimiento en zonas templadas, tal es el caso de Kikuyo y la Festuca alta (*Festuca arundinacea*) esta última con la cualidad de no necesitar grandes cantidades de agua, por lo que se considera una buena opción en la alimentación del ganado.

La sequía suele ser la limitante principal en cuanto al rendimiento del forraje en estos sistemas (Jensen *et al.*, 2010). Por lo que existe una gran preocupación en el suministro de forraje en las tierras con época de secas prolongada (Özcan *et al.*, 2015).

2. 2. 1. Transición verano-otoño y su efecto en los pastos

El verano comprende del 21 de junio hasta el 20 de septiembre y el otoño del 21 de septiembre hasta el 20 de diciembre. En este periodo de tiempo se registró una temperatura media de 16.2 °C en septiembre y de 15.5 °C en octubre con una precipitación pluvial de 195 mm en septiembre y 71.5 mm en octubre. Las gramíneas tienen un patrón estacional que se ve identificado por la composición química de los mismos, como se ve reflejado en un estudio por Fulkerson *et al.* (1998) donde el contenido de proteína cruda fue mayor al final de la primavera y en otoño, ambos periodos con amplia cobertura de nubes y temperaturas ambiente relativamente altas.

2. 3. Kikuyo (Pennisetum clandestinum/Cenchrus clandestinus)

El Kikuyo es una gramínea subtropical perenne adaptada a los climas subtropicales, climas templados y cálidos, su origen se remonta a la meseta de África central y oriental a altitudes superiores a 1500 metros sobre el nivel del mar, con precipitaciones superiores a 1000 mm. Es una gramínea con la capacidad de adaptarse a diferentes condiciones medioambientales, con un alto rendimiento, excelente respuesta a la fertilización y al agua, resistencia al pisoteo y al sobrepastoreo. Sin embargo, no resiste temperaturas por debajo de los 7 °C (Escobar Charry, 2018). Es muy agresivo por su crecimiento estolonífero e invade praderas de gramíneas templadas. Tiene una producción de forraje en la época de lluvias con un desempeño similar a gramíneas de clima templado (Plata-Reyes *et al.*, 2018).

2. 4. Festuca alta (*Festuca arundinacea*)

La Festuca alta (*Festuca arundinacea*), *Lolium arundinaceum* Schreb (Darbysh)=*schedonorus arundinaceus*. Es una gramínea perenne templada conocida en todo el mundo por su tolerancia a una amplia gama de condiciones climáticas y de suelo. En comparación con otras especies forrajeras en Australia se ha demostrado que la Festuca alta puede ser más productiva que el rye grass perenne (Raeside *et al.*, 2012)

La Festuca alta (*Festuca arundinacea*) es una gramínea de uso forrajero, resistente al frío y a la sequía, además de producir forraje de buena calidad, se caracteriza por su persistencia y resistencia al pisoteo (Cougnon *et al.*, 2013)

Sin embargo, las Festucas tienen compuestos tóxicos que producen un problema conocido como Festucosis producido por el hongo endófito (*Neothypodium coenophialum*) dando como resultados mermas en la producción de ganancia de peso kg, dificultades de producción, de reproducción, incluso hasta la muerte en ovinos y equinos. Esto demuestra la importancia de adquirir una semilla “libre de festucosis”.

2.4.1. Festuca arundinacea cv. Cajun II

Caracterizado por su rusticidad y resistencia al pisoteo, al frío y a la sequía. La variedad Cajun II tiene la característica de estar libre de endófitos, causantes de la festucosis en bovinos, ovinos y equinos. Altos rendimientos y longevidad extendida. Es un cruce especial de tipo europeo y tipo mediterráneo, lo que le da una mayor variedad de adaptación y la capacidad de adaptarse a climas calurosos y húmedos así como a climas más fríos. Se puede mezclar con otras gramíneas perennes o leguminosas como el trébol blanco.

2.4.2. Festuca arundinacea cv. TF33

Es una gramínea perenne cultivada ampliamente en regiones templadas de todo el mundo donde el estrés por calor es un factor que limita su crecimiento y producción. Su hábito de crecimiento es erecto y tiene una buena resistencia al pisoteo o pastoreo. La variedad TF-33 además, de ser una variedad creada, tolerante al déficit hídrico y las altas temperaturas está libre de endófitos, de ahí radica la importancia de su evaluación (Plata-Reyes, 2018)

2. 5. Trébol blanco (*Trifolium repens*)

Leguminosa dominante en la mayoría de las praderas, se adapta a climas con buena humedad, cultivada en asociación con gramíneas para pastoreo o corte, de buena palatabilidad y alto contenido proteico, además de que suministra grandes cantidades de nitrógeno, resistente al pisoteo (FAO 2013).

III. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es el efecto sobre el desempeño animal en vacas alimentadas en pastoreo continuo intensivo de Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*/*Cenchrus clandestinus*) asociada a Festuca alta (*Festuca arundinacea*)?

¿Cuál es la diferencia entre el rendimiento y la composición química de Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*/*Cenchrus clandestinus*) asociada a Festuca alta (*Festuca arundinacea*)?

¿Cuál es el efecto de la transición verano-otoño sobre la composición química de de Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*/*Cenchrus clandestinus*) asociada a Festuca alta (*Festuca arundinacea*) en pastoreo continuo intensivo?

IV. JUSTIFICACIÓN

El pastoreo es la opción más viable para reducir los costos de alimentación y la dependencia a insumos externos que afectan la rentabilidad y la sustentabilidad de las unidades de producción en pequeña escala. Actualmente es importante considerar los efectos del cambio climático, como lo son las temperaturas elevadas, lluvias erráticas y escasas, todo esto sumado a los distintos factores agroecológicos (periodo de riego) y sociales (espacio de tierra y cantidad de animales) de las unidades de producción, por lo que es importante evaluar estrategias que sean más adaptables a estas condiciones. Es también importante utilizar los recursos con lo que cuenta cada unidad de producción, las praderas que a veces ya tienen. Es por eso que se pretende evaluar gramíneas que se han establecido de forma natural en las praderas y que además en algunas partes está considerada como una plaga por su alto grado de invasividad, que en este caso es el Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*/*Cenchrus clandestinus*) gramínea perenne tropical caracterizada por adaptación y facilidad de establecimiento. Por otra parte están la Festuca alta cv. Cajun II, y TF33, estas tienen la cualidad de estar libre de endófitos causantes de la festucosis y de ser más resistente tanto a climas cálidos como fríos. Por lo que se propone evaluar el desempeño animal de vacas lecheras (rendimiento y composición físico-química de la leche, condición y peso vivo) bajo pastoreo continuo intensivo de praderas de pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*/*Cenchrus clandestinus*) asociadas o no con Festuca alta (*Festuca arundinacea* cv. Cajun II) y cv. TF33. Además de evaluar el rendimiento, la disponibilidad y la calidad de forraje a través de variables agronómicas (acumulación neta del forraje y altura) y químicas (materia orgánica, cenizas, proteína cruda, digestibilidad enzimática, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido) de

las praderas mencionadas. Durante la transición verano- otoño para evaluar la plasticidad y la resistencia de estas gramíneas al cambio en el clima.

V. HIPÓTESIS

No existen diferencias en el desempeño productivo en términos de rendimiento y composición físico-química de leche (grasa, proteína y lactosa) peso vivo y condición corporal de vacas lecheras alimentadas en pastoreo continuo intensivo de praderas bajo riego cultivadas con Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*/*Cenchrus clandestinus*) y Festuca alta (*Festuca arundinacea*) cv. Cajun II y TF33 suplementadas en corral con 4.65 kg de MS de alimento balanceado comercial/vaca/día en una unidad de producción de leche en pequeña escala en el Noroeste del Estado de México.

No existen diferencias en los rendimientos de forraje expresados en kg MS/ha, ni en la composición química del forraje en términos de materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y digestibilidad enzimática *in vitro*, entre praderas bajo riego cultivadas con

Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*/*Cenchrus clandestinus*) y Festuca alta cv. Cajun II y TF33.

VI. OBJETIVOS

6. 1. Objetivo general

Evaluar el rendimiento de leche, la condición corporal y peso vivo de vacas lecheras alimentadas bajo pastoreo continuo intensivo de Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*/*Cenchrus clandestinus*) y Festuca alta (*Festuca arundinacea*) cv. Cajun II y TF33.

6. 2. Objetivos específicos

Determinar la composición química de la leche en cuanto al contenido de grasa, proteína, lactosa, y concentración de nitrógeno ureico de vacas alimentadas bajo pastoreo continuo intensivo de praderas cultivadas con Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*/*Cenchrus clandestinus*) y Festuca alta cv. Cajun II y TF33 en el Noroeste del Estado de México.

Evaluar la altura comprimida expresada en centímetros, la acumulación neta de forraje (ANF) total y por día expresada en kg MS/ha total y por día, así como la digestibilidad enzimática *in vitro*, composición química de praderas cultivadas con Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*/*Cenchrus clandestinus*) y Festuca alta cv. Cajun II y TF33 siguiendo un patrón de pastoreo continuo intensivo por vacas lecheras en el Noroeste del Estado de México.

VII. MATERIALES Y MÉTODO

El estudio se llevó a cabo en la unidad de producción de leche en pequeña escala de un productor participante que colabora en el proyecto “Evaluación de nuevas variedades de pastos y forrajes en estrategias de alimentación del ganado en sistemas de producción de leche en pequeña escala.” (Clave UAEM: 4487/2018CI).

7.1 Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el municipio de Aculco, en el Estado de México el cual se encuentra entre 20 ° 06' y 20 ° 17' Norte y entre los 99 ° 40' y 100 ° 00' Oeste, a una altitud de 2.440 metros sobre el nivel del mar, con un clima templado sub-húmedo, una temperatura media anual de 13.2 ° C y precipitación anual superior a 700 mm (Fadul- Pacheco *et al.*, 2013).

El verano comprende del 21 de junio hasta el 20 de septiembre y el otoño del 21 de septiembre hasta el 20 de diciembre. El experimento comenzó el 01 de septiembre y finalizó el 12 de octubre. En este periodo de tiempo se registraron temperaturas de 23.9 °C y 22.9 °C con una precipitación pluvial de 195 mm en septiembre y 71.5 mm en octubre.

7.2. Variables de diseño y animales experimentales

Se usaron 9 vacas Holstein multíparas, con un peso promedio de 500 kg, condición corporal de 2.5 y 120 días en lactación, con una producción de leche inicial de 20 kg/día. Las vacas se asignaron aleatoriamente en tres grupos en función de la etapa de lactación y rendimiento de leche.

7. 3. Praderas y manejo del pastoreo

Se evaluaron tres praderas, la primera de Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*/*Cenchrus clandestinus*) (KYKY), la cual se ha establecido naturalmente de forma invasiva, asociada con trébol blanco. La segunda de *Festuca arundinacea* cv. TF-33 (TF33), sembrada el 22 de diciembre de 2015 a una dosis de siembra de 30 kg/ha de semilla de gramínea y 3 kg/ha de semilla de trébol blanco (*Trifolium repens* L. cv Ladino). Y la tercera de *Festuca arundinacea* cv Cajun II (FACJ), sembrada el 08 de febrero de 2018 a una dosis de 22 kg/ha de semilla de gramínea y 3 kg/ha de semilla de trébol blanco (*Trifolium repens* L cv Fiona). Se fertilizaron a la siembra con una dosis de 60-80-60 kg/ha con urea, fosfato diamónico y cloruro de potasio respectivamente. Al momento del experimento las praderas estaban notablemente invadidas por Kikuyo. La superficie de las praderas se ajustó a 1.0 hectárea, cada una, se delimitó con cerco eléctrico y la carga animal fue de tres vacas/ha.

7. 4. Periodos experimentales

El experimento se realizó del 01 de septiembre al 12 de octubre de 2018, en tres periodos experimentales de 14 días. Cada periodo tuvo una duración de 10 días de adaptación a la dieta y de 4 días para la recolección de muestras y registro de datos. El experimento se realizó mediante el enfoque de investigación participativa rural (Conroy, 2005).

7. 4. 1. Tratamientos

Mediante el diseño experimental cuadro latino 3x3 repetido 3 veces se compararon tres tratamientos, se establecieron tres periodos, donde los animales fueron distribuidos de la siguiente forma:

CUADRO 1				CUADRO 2				CUADRO 3			
VACA	PI	PII	PII	VACA	PI	PII	PIII	VACA	PI	PII	PIII
6970	KY	TF	CJ	6969	CJ	TF	KY	5940	TF	KY	CJ
6433	TF	CJ	KY	6972	KY	CJ	TF	5943	CJ	TF	KY
6976	CJ	KY	TF	1496	TF	KY	CJ	5939	KY	CJ	TF

PI: Periodo uno; PII: Periodo dos; PIII: Periodo tres; KY: Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*/*Cenchrus clandestinus*) TF: Festuca alta (*Festuca arundinacea*) cv. TF33; CJ: Festuca alta (*Festuca arundinacea*) cv. Cajun II.

Los tratamientos fueron tres; Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*/*Cenchrus clandestinus*) (KY) asociada con trébol blanco (*Trifolium repens*), Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*/*Cenchrus clandestinus*) + Festuca alta (*Festuca arundinacea*) cv. TF33 (FATF), y Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*/*Cenchrus clandestinus*) + Festuca alta (*Festuca arundinacea*) cv. Cajun II (FACJ), ambas asociadas a trébol blanco. Todas las vacas permanecieron 8 horas diarias en la pradera con acceso libre al agua, se suplementaron en corral con 4.65 kg de MS/ vaca/día de concentrado comercial (20% PC), distribuido en dos porciones iguales antes de cada ordeña a las 07:00 y 18:00 horas. El pastoreo fue continuo intensivo. El consumo de materia seca se determinó indirectamente a partir de los requerimientos de energía, considerando el rendimiento de leche de cada vaca y la concentración de energía metabolizable (EM) aportada por el concentrado comercial, siguiendo la metodología de Hernández-Mendo y Leaver *et al.* (2006).

7. 5. Producción de forraje

La altura de la pradera se registró con un medidor de plato ascendente, realizando 30 mediciones con un patrón de “W” (Hodgson, 1994). La acumulación neta de forraje (ANF) se

determinó directamente de las praderas con seis jaulas de exclusión al pastoreo de 0.25 m² (0.5 m x 0.5 m) colocadas de manera aleatoria para la determinación del crecimiento del forraje, a partir de cortes delimitando el área con un cuadrante de metal de 0.16 m² (0.40 m x 0.40 m). El primer corte correspondiente al día 0 se realizó a un costado de la jaula de exclusión, cuidando que la parte aislada fuera similar a la que se cortó fuera de la jaula y el segundo corte se realizó el día 14 dentro de la jaula con el mismo cuadrante. El pasto se cortó al ras del suelo, con tijeras para esquila, y se determinó materia seca. Por diferencia de peso se estimó la acumulación neta de forraje y el resultado se expresó en kg de MS/ha (Teuber, 2007).

Para la obtención de las muestras del forraje verde en la pradera se utilizó la técnica de pastoreo simulado que consiste en recolectar muestras al azar de toda la pradera con la mano de forma semejante a los cortes que hacen las vacas al pastorear, lo que permite tener un buen estimador de la calidad nutritiva del forraje consumido (Hodgson, 1994). Se realizó en cada una de las tres praderas el último día de medición de cada período experimental.

7. 6. Composición botánica

Se determinó mediante la recolección de cinco muestras al azar de cada pradera en cada periodo, usando un cuadrante de metal de 0.16 m² (0.40 m x 0.40 m), se pesaron (50 g) utilizando una báscula digital portátil Scout Pro, posteriormente se separó manualmente en proporción, gramínea (Festuca o Kikuyo), leguminosa (trébol), y arvenses las cuales se calcularon sobre una base de MS mediante secado en horno a 55 °C durante 48 horas (Botha *et al.*, 2009)

7. 7. Composición química del forraje de pradera y complementos alimenticios

Los análisis bromatológicos de las muestras de forraje se realizaron en el laboratorio del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) de la UAEM.

7. 7. 1. Análisis de laboratorio

De las muestras de praderas y concentrado comercial se determinó la materia seca (MS), en una estufa de aire forzado a 55 °C, hasta alcanzar un peso constante, posteriormente se molieron en un molino (Pulvex 200), para determinar materia orgánica (MO), proteína cruda (PC), por el método Kjeldahl, Fibra neutro detergente (FND) y Fibra detergente ácido (FDA) se realizó mediante el método de la micro-bolsa (Ankom, 2005).

La Digestibilidad *in vitro* de la Materia Orgánica (DIVMO) se determinó a través del método de incubación enzimática descrito por Riveros y Argamentaría (1987).

El contenido de Energía Metabolizable se estimó con base en la metodología del AFRC (1993):

$$EM \text{ (MJ/kg MS)} = k * DMOD \text{ (g/kg MO)}$$

Donde $k=0.0157$ y $DMOD = \text{Materia Orgánica} \times \text{Digestibilidad } in \text{ vitro} \text{ de la Materia Orgánica} / 1000$.

7. 8. Producción animal

El rendimiento de leche se registró diariamente durante los cuatro días de medición de cada periodo experimental (Kg/vaca). Se recolectó directamente de los contenedores individuales después de cada ordeño (100 ml), posteriormente con las muestras de ambos ordeños AM y PM se preparó una alícuota de 100 ml con respecto a la producción total del día. En

laboratorio se hizo un análisis físico-químico (grasa proteína y lactosa) mediante un analizador de ultrasonido Lactoscan, y se determinó la concentración de nitrógeno ureico en leche (NUL), con el método colorimétrico enzimático (Chaney y Marbach 1962).

7. 8. 1. Peso vivo

El peso vivo de las vacas (kg) se registró el penúltimo día de medición de cada periodo, es decir, el día 13, después del ordeño de la tarde utilizando una báscula portátil (Gallagher ^{MR}).

7. 8.2. Condición corporal

Esta variable se registró en el penúltimo día de cada periodo experimental de acuerdo a la técnica descrita por Wattiaux (2002), diseñada para una evaluación visual considerando una escala de 5 puntos:

- 1.-Subcondicionamiento severo
- 2.-Esqueleto obvio
- 3.-Buen balance de esqueleto y tejidos superficiales
- 4.- Esqueleto no tan obvio como tejidos superficiales
- 5.-Sobrecondicionamiento

7. 9. Diseño experimental y análisis estadístico

Para las variables de producción de forraje se utilizó un diseño de parcelas divididas considerando el siguiente modelo: $Y_{ijk} = \mu + T_j + E_j + p_k + T_{pijk} + e_{ijk}$ Dónde:

Y_{ijk} = Variable respuesta μ =Media general, T =Efecto de Tratamientos (Parcela Mayor) $i = 1 \dots 3$, E =Término residual para las Parcelas Mayores p =Efecto de los periodos

experimentales (Parcela Menor) $j=1...3$ Tp =Efecto de la interacción entre los tratamientos y periodo experimental e =Término residual.

Las variables de producción animal se analizaron a través de un cuadro latino 3x3 replicado tres veces mediante el siguiente modelo: $Y_{jkl}=\mu+C_j+V_{(i)j}+P_k+t_l+e_{jkl}$ Dónde: Y_{jkl} =Variable respuesta μ =Media general, C =Efecto de cuadros ($i=1... 3$) V =Efecto de las vacas dentro de cuadros ($j =1...3$) P =Efecto de los periodos experimentales ($k=1...3$) t =Efecto de los tratamientos ($l =1...3$) e =Error experimental.

VIII. RESULTADOS

8.1. Artículo enviado a la revista indexada: Tropical Animal Health and Production

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

De:em.trop.0.65fdb6.7729eb16@editorialmanager.com

[mailto:em.trop.0.65fdb6.7729eb16@editorialmanager.com] En nombre de Tropical Animal Health and Production

Enviado el: martes, 17 de septiembre de 2019 01:56 a. m.

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

Asunto: TROP-D-19-01306 - Acknowledgement of Receipt

Dear Dr. Arriaga-Jordan:

I am writing to acknowledge the receipt of your manuscript entitled "Kikuyu (*Pennisetum clandestinum* / *Cenchrus clandestinus*) pastures associated with tall fescue (*Festuca arundinacea* / *Lolium arundinaceus*) grazed in autumn in small-scale dairy systems in the highlands of Mexico".

The submission id is: TROP-D-19-01306

Please refer to this number in any future correspondence.

Thank you for submitting this paper to Tropical Animal Health and Production.

During the review process, you can keep track of the status of your manuscript.

Your username is: cmarriagajordan

If you forgot your password, you can click the 'Send Login Details' link on the EM Login page at <https://www.editorialmanager.com/trop/>.

Yours sincerely,

Leslie JS Harrison PhD
Tropical Animal Health and Production

Kikuyu (*Pennisetum clandestinum* / *Cenchrus clandestinus*) pastures associated with tall fescue (*Festuca arundinacea* / *Lolium arundinaceus*) grazed in autumn in small-scale dairy systems in the highlands of Mexico

María Nayeli Marín-Santana¹, Felipe López-González¹, Omar Hernández-Mendo², and Carlos Manuel Arriaga-Jordán¹

¹ Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), Campus UAEM El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas, 50090 Toluca, Estado de México, México

³ Colegio de Postgraduados, Texcoco, México

Corresponding Author:

Carlos M. Arriaga-Jordán

Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR),

Universidad Autónoma del Estado de México,

Campus UAEM El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas,

50090 Toluca, Estado de México, México

Tel / Fax: +52 (722) 296 5552 / 180 61 24 / 481 16 07

E-mail: cmarriagaj@uaemex.mx

Kikuyu (*Pennisetum clandestinum* / *Cenchrus clandestinus*) pastures associated with tall fescue (*Festuca arundinacea* / *Lolium arundinaceus*) grazed in autumn in small-scale dairy systems in the highlands of Mexico

Abstract

Intensive grazing increases the profitability and sustainability of small-scale dairy systems by reducing feeding costs. Kikuyu grass is a subtropical species from East Africa that has similar performance compared to temperate grasses when grazed by dairy cows in these systems during the summer rainy season but reduces growth and quality at low temperatures, when temperate species may have an advantage. The objective was to evaluate intensive grazing of kikuyu pastures (KYKY) alone or in association with two varieties of endophyte-free tall fescue, TF-33 (TF33) and Cajun II (CAJN), during the summer – autumn transition period when low temperatures set in, by lactating cows in small-scale dairy farms. Pasture variables were analysed with a split-plot design for sward height, net herbage accumulation and chemical composition, *in vitro* digestibility of organic matter, and estimated metabolizable energy content of herbage and concentrate. Experimental design for animal variables was a 3x3 Latin Square repeated three times with nine Holstein cows and 14 d experimental periods. Cows received 4.65 kg DM/d of a 20% CP commercial concentrate. Milk yield and composition, live weight and body condition score were recorded. There were no significant differences ($P>0.05$) for sward height, net herbage accumulation, nor for important components of chemical composition of herbage. There were no significant differences ($P>0.05$) for milk yield (19 kg/cow/day) and composition, although differences ($P<0.05$) were detected for live weight and body

condition score. Conclusion is that there is no advantage of associating tall fescue with kikuyu in summer-autumn transition period for small-scale dairy systems.

Keywords: Continuous grazing; dairy cows, summer – autumn transition,

Introduction

Small-scale dairy farming is an option to overcome rural poverty (Espinoza-Ortega et al., 2007); and the implementation of grazing in small-scale dairy farms reduced feeding costs, and thus increased their profitability and sustainability (Prospero-Bernal et al., 2017).

Kikuyu grass (formerly *Pennisetum clandestinum* [Hochst ex Chiov.], currently *Cenchrus clandestinus* [Hochst ex Chiov] Morrone) is a subtropical species from East Africa that has become naturalized in the temperate and subtropical highlands of Mexico. It is invasive and highly aggressive through its vigorous growth of rhizomes and stolons (Marais, 2001); and invades temperate grass pastures under intensive grazing reducing their persistence (Plata-Reyes et al, 2018).

In the summer rainy season, kikuyu pastures have herbage production and animal performance, with grazing dairy cows, similar to temperate grass pastures (Plata Reyes et al., 2018). However, although kikuyu tolerates light frosts, it does not survive in sustained cold, and growth is restricted at temperatures under 8 °C (Marais, 2001)

Decreasing temperatures are a feature of the sub-humid temperate climate in the central highlands of Mexico in the transition period from summer to autumn in September.

At low temperatures, when kikuyu reduces its growth, temperate grass species as tall fescue (previously *Festuca arundinacea* Schreb, currently *Lolium arundinaceus* [Schreb.] Darbysh) may have a role in herbage production and intake by grazing dairy cows. Tall

fescue is a hardy perennial temperate grass tolerant to frost, high temperatures and water deficit (Scheneiter *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2013), recognised as a possibility to overcome the low persistency of perennial ryegrass pastures under the agro-ecological and management conditions of small-scale dairy farms (Plata-Reyes *et al.*, 2018).

A problem with tall fescue is that old varieties are infected with the endophyte fungus *Neotyphodium coenophialum*, which causes tall fescue toxicosis in cattle that affects production and reproductive performance. New endophyte-free tall fescue varieties overcome these problems, and need to be assessed in the Mexican context.

The objective was therefore to evaluate kikuyu pastures on its own or associated with tall fescue varieties, all with white clover (*Trifolium repens* L.), under continuous grazing by milking dairy cows during the transition summer to autumn period in the context of small-scale dairy systems.

Material and methods

Study area

An on farm experiment following guidelines for participatory livestock technology development (Conroy, 2005) was undertaken in the municipality of Aculco in the State of Mexico, located between 20 ° 06' and 20 ° 17' North, and between 99 ° 40' and 100 ° 00' West, a mean altitude of 2,440 m, sub-humid temperate climate with a mean temperature of 13.2 °C, with frosts from October to February, and annual rainfall above 700 mm with a distinct rainy season (May to October) and dry season (November to April) (Celis-Alvarez *et al.*, 2016).

Pasture variables

Three pastures were evaluated. The first pasture was of kikuyu (KYKY) grass with white clover established naturally by invasion of kikuyu on a non-tilled plot of land, grazed by cattle over the previous five years.

The other two pastures were sown to endophyte-free tall fescue varieties and white clover cv. Ladino. The second pasture was sown on 22 December 2015 to tall fescue cv. TF-33 (TF33); and the third pasture was sown on 8 February 2018 to tall fescue cv. Cajun II (CAJN).

Seed rate was 30 kg TF-33 and 22 kg Cajun II seed/ha and 3 kg white clover seed/ha, and fertilized at sowing with 60 kg N – 80 kg P – 60 kg K/ha. The three pastures were fertilized with 50 kg N about every 28 – 35 days, and 80 kg P and 60 kg K/ha every six months.

By the time of the experiment, the two tall fescue pastures were notably invaded by kikuyu.

Sward height recording was with a rising plate grass metre taking 30 measurements per pasture following a zig-zag pattern (Velarde-Guillén et al., 2019).

Net herbage accumulation (NHA) was from six 0.5 x 0.5 m exclusion cages per pasture, with 0.4 x 0.4 quadrants cut to ground level with shears at the end of each 14 d experimental period, and the cages placed randomly thereafter as in previous work (Plata-Reyes et al., 2018). Cut herbage was dried in a draught oven at 55 °C to constant weight and results expressed in kg DM/ha.

Botanical composition of pastures was from 50 g subsamples taken from the five samples per pasture and period from herbage cut for NHA; and manually separated in the laboratory into grasses (kikuyu or tall fescue), white clover, and other plants; and dried at 55 °C for 48 h and results expressed as g/kg DM (Botha et al., 2009).

Pastures were adjusted to 1.0 ha each with an electric fence, so that stocking rate in all pastures was 3.0 cows/ha.

Animal variables

Nine multiparous Holstein cows were used, with a mean live weight of 500 kg, 2.5 body condition score (BCS), 120 days in milk, and a daily mean milk yield of 20.0 kg milk/cow. Cows were grouped in three squares with three cows each according to their pre-experimental milk yield and stage of lactation. Within each square, cows were randomly assigned to treatment sequences.

Recording of daily milk yield was on four consecutive days at the end of each experimental period with a clock spring balance and expressed as kg milk/cow/day using the 4 d mean for analyses. Individual 100 ml samples of milk per cow and per milking were taken and an aliquot composite sample from the 4 days taken for milk fat and protein determination with an ultrasound milk analyser. Similarly, samples were taken for milk urea nitrogen determination by the enzymatic colorimetric method described by Chaney and Marbach (1962).

Recording of cow live weight was at the beginning of the experiment and for two consecutive days at the end of each experimental period, by means of an electronic weighbridge. At the same time, body condition score (BCS) was determined on a 1 (very thin) to 5 (very fat) point scale.

Herbage dry matter intakes per cow were estimated from utilised metabolizable energy from requirements and the concentration of estimated metabolizable energy (eME) of herbage and the concentrate following Hernández-Mendo and Leaver et al. (2006).

Treatments

Continuous grazing of cows was for 8 h/day between the morning (7:00 h) and evening (18:00 h) milkings, and kept indoors over-night. There were three pasture treatments: KYKY: kikuyu pasture; TF33: tall fescue cv. TF-33 pasture with kikuyu; and CAJN: tall fescue cv. Cajun II with kikuyu; and all pastures had white clover. All cows received 4.65 kg DM/cow/day of a commercial compound concentrate with a stated content of 20% CP; divided in two equal meals before each milking. Cows had free access to drinking water at all times.

Experimental periods were 14 days duration, with 10 days for adaptation to treatments, and 4 days for recordings and sample collection. Fourteen day periods are acceptable for dairy cow experiments when diet changes are not drastic, and have been used by other authors (Pérez-Ramírez et al., 2012), and in previous work (Plata-Reyes et al., 2018).

Laboratory analyses

Herbage and concentrate samples were dried for DM as described, and ashed in a muffle furnace at 550 °C to determine organic matter (OM). Standard analytical methods for the determination of chemical composition of feeds were those reported by Anaya-Ortega et al. (2009). Enzymatic *in vitro* organic matter digestibility (IVOMD) followed Riveros and Argamentarías (1987). Estimated Metabolizable Energy (eME) content of herbage and concentrate was calculated from DOMD with the AFRC (1993) equation.

Statistical analyses

Pasture variables were analysed with a split plot design by ANOVA where treatments (grass species in pastures) were main plots as fixed effects, and experimental periods as split-plots (random effects) (Kaps and Lamberson, 2004), with the following model:

$$Y_{ijkl} = \mu + r_i + T_j + E_k + p_l + T p_{jl} + e_{ijk}$$

Where:

μ = General mean; r = Effect of replicates $i = 1, 2$; T = Effect of pasture treatment (Main Plot) $j = 1, 2, 3$; E = Error term for Main Plots $[r(T)ij]$; p = Effect of experimental periods (split - plot) $k = 1, \dots, 3$; Tp = Interaction term between treatments and measurement periods; e = Error term for split plots

The experimental design for animal variables was a 3 x 3 Latin Square repeated three times. Treatment sequences in squares 1 and 3 were allocated randomly, and arranged in square 2 as a 'mirror image' of square 1 to account for possible carry over effects (Celis-Alvarez et al. (2016). Allocation of cows within squares to treatment sequence was random. The model for analysis was (Plata-Reyes et al., 2018):

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + C_{j(i)} + P_k + t_l + e_{ijkl}$$

Where: μ = General mean; S = effect due to squares. $i = 1, 2, 3$; C = effect due to cows within squares $j = 1, 2, 3$; P = effect due to experimental periods. $k = 1, 2, 3$; t = effect due to treatment. $L = 1, 2, 3$; and e = residual error term.

The Tukey test was applied when significant differences were detected ($P \leq 0.05$).

Results

The experiment lasted from 1 September to 12 October 2018. Figure 1 shows the mean temperature and rainfall during the experiment. Rainfall during September was 195.0 mm and 71.5 mm in October, and mean temperatures were 16.2 °C in September and 15.5 °C in October.

Table 1 shows sward height and net herbage accumulation (NHA) expressed as kg DM/ha for experimental periods and per day. There were no statistical differences ($P>0.05$) for any of these variables, neither for pastures nor for periods. Mean grass metre sward height was 5.34 cm and mean NHA was 24 kg DM/ha/day representing an availability of 8 kg DM/cow/day.

Table 2 shows results for the chemical composition of herbage from the three pastures and the commercial concentrate. There were significant interactions ($P<0.05$) between pastures and experimental periods for DM, OM, and CP. There were no other significant interactions.

CP content of kikuyu was stable over the experiment, while CP in TF33 decreased for the third period from 189 to 147 g/kg DM, and CAJN CP content increased for the second period to fall in the third period.

There were significant differences ($P<0.05$) between pastures and periods for NDF and between pastures for ADF. Tall fescue pastures had significantly higher contents of NDF and ADF than the KYKY pasture, and for NDF, there was a significantly lower content in Period 1 that increased for Periods 2 and 3. IVOMD values were not different ($P>0.05$) between pastures or periods with a mean of 749 g/kg OM, and therefore there were no differences for eME. Mean herbage eME was 10.5 MJ EM/kg DM.

Table 3 shows the botanical composition for pastures and periods. The KYKY pasture had a 2.2 to 1.0 ratio between the grass and white clover, with about 15% of other plants.

Kikuyu grass was present at around 30% of available DM herbage in the tall fescue pastures denoting its invasive nature, which had low proportions of white clover (6%) and a higher proportion of other plants, particularly in the CAJN pasture.

Temperatures were not low enough to hinder kikuyu growth, so that there was little change in the proportion of tall fescue herbage in the botanical composition as the experiment progressed. All pastures grew vigorously in the three periods as denoted by the high proportion of live material.

Table 4 shows results for animal variables. There were no statistical differences between treatments or periods for milk yield, milk fat and protein content, milk urea nitrogen, or pasture DM intake. Mean milk yield was 19 kg/cow/day with a mean of 30.2 g/kg milkfat and 27.6 g/kg protein; with 8.5 kg/cow/day as mean dry matter intake (DMI) of herbage.

There was a trend ($P < 0.06$) for live weight with lower weight when cows grazed TF33, and there were significant differences ($P < 0.05$) between periods for live weight and body condition score with a drop during the second period that recuperated in Period 3.

Discussion

Mean temperatures were at the lower end of the range between 16 °C and 21 °C for the optimal growth of kikuyu (Marais, 2001). There were only two days when the mean minimal temperature was under 8 °C, recognised as the temperature below which kikuyu has restricted growth (Marais, 2001), so that in general, kikuyu growth was not affected by temperature.

Sward height and NHA

Sward height is a useful measurement in grazing management as an indicator of herbage availability for grazing animals, with a sward height between 5.0 and 8.0 cm (recorded with a ruler) as optimal to maximize herbage intake under continuous grazing, which is restricted under 5.0 cm (Mayne et al., 2000). Mean grass metre (compressed) sward height in the experiment was 5.3 cm, so that there were no limitations to intake from this variable.

NHA was low at 334 kg DM/ha, equivalent to 24 kg DM/ha/day denoting a low availability of only 8 kg DM/cow/day; in spite of adequate sward heights.

This is in contrast to reports by Pincay-Figueroa et al. (2016) who reported NHA of 40 kg DM/ha at mean grass metre sward heights of 3.1 cm (with measurements as low as 2.2 cm) of temperate grass species with white clover, indicating high herbage growth rates even at low sward heights and high grazing intensity. Results might be explained by the end of the summer rains and the natural decline in growth rates.

Chemical composition of herbage

The CAJN pasture showed the higher DM content and KYKY had a higher OM content of the three pastures, with small but significant changes in the interaction between pastures and periods as the experiment progressed.

In terms of CP, TF33 showed the lowest content with a mean of 174 g CP/kg DM while the mean CP content of KYKY and CAJN was 18% higher (200.5 g CP/kg). Both values meet CP requirements for moderate yielding dairy cows.

One characteristic of kikuyu is that CP content tends to decrease towards autumn when temperatures fall in temperate areas (Botha *et al.*, 2008), when oversowing with a temperate

grass species like annual ryegrass (*Lolium multiflorum*) is recommended in South Africa to ensure a constant supply of quality herbage during the autumn and winter when kikuyu does not thrive.

Dobos et al. (2009) in New South Wales in Australia reported 207 g CP/kg DM, 602 g NDF/kg DM, 230 g ADF/kg DM, and an IVOMD of 607 g/kg OM with 9.9 MJ ME/kg DM in kikuyu grass at a pre-grazing sward height of 10 and 13 cm in rotational grazing, and even obtained 11 MJ EM/kg DM. These values are similar to those reported herein.

Nutritional value of kikuyu was demonstrated to be directly related to sward height, with the better quality at the top (leaves) and lower in the bottom strata where there are more stems, although cattle prefer higher quality shorter pastures since very tall pastures reduce their quality (Dobos et al, 2009).

CP content reported by Dobos et al. (2009) are similar to those reported herein, as well as those observed by Plata Reyes et al. (2018) who reported 213 g CP/kg DM for kikuyu pastures in the study area.

Velarde-Guillen et al. (2018) mentioned that high crude protein levels in herbage may meet CP requirements for moderate yields between 16 and 20 kg/cow/day, similar to the milk yields herein reported of 19 kg milk/cow/day. There is awareness at present with high levels of protein in diets of dairy cows since they both represent an extra load to cow metabolism that has to process excess protein / ammonia in their system, as well as the concern with NOx emissions by dairy cattle to the environment (Powell et al, 2011).

NDF and ADF are inversely related to voluntary intake in ruminants, so that lower contents of NDF result in higher dry matter intakes (Jensen *et al.*, 2010). NDF values were similar to

reports by Plata-Reyes et al. (2018). In spite of significant differences for fibre contents between pastures, overall the three pastures had good quality herbage, as mean NDF content in herbage from the three pastures was low at 476.2 g NDF/kg DM, and a mean of 218.0 g ADF/kg DM. The good quality of herbage was proved by the IVOMD and eME values.

Therefore, herbage DMI was not limited by herbage quality, but by low availability for grazing.

Bell et al. (2013) reported a study comparing kikuyu vs perennial ryegrass in southwest Australia with a Mediterranean climate. Digestibility for kikuyu with white clover was 560 and 620 g/kg DM compared to perennial ryegrass at 600 and 690 g/kg DM. ME values were 9.0 – 9.9 MJ ME/kg DM for kikuyu-white clover, and 9.7 – 11.1 MJ ME/kg DM for perennial ryegrass-white clover pastures. These values are lower than herein reported where mean IVOMD was 749 g/kg DM and eME of 10.5 ME EM/kg DM, indicating high nutritional value of the three pastures.

Fulkerson et al. (1998) reported ME contents of 8.5 MJ ME/kg DM during the growing season and 9.5 MJ ME/kg DM during winter in subtropical Australia for kikuyu pastures. This values are also under those found in the work herein reported, and is explained by the higher temperatures in the work reported by these authors.

Higher values for KYKY, TF33 and CAJN pastures observed in the study herein reported may be explained by the cooler climate in the highlands of central Mexico. The work undertaken was at an altitude of 2,440 m of a temperate sub-humid climate, with an average temperature during the experiment of 16°C. Fulkerson et al. (1998) mentioned higher ME

values for kikuyu in temperate areas of New Zealand, which was probably the case in this work.

These findings throw a new light to the value of kikuyu in dairy production in the highlands of Mexico, where it has not been considered due to the lower nutritional value for kikuyu reported from lower altitudes with higher temperatures.

Botanical composition

Botanical composition of pastures have an effect on the chemical composition. In terms of NDF, at a larger proportion of grasses in a pasture, higher NDF contents, which is lower in legume rich pastures (Botha et al., 2009).

The KYKY pasture had almost 25% of white clover, which provided a balance with the kikuyu grass on an almost 2 : 1 grass/legume proportion. On the contrary white clover was low in the tall fescue pastures, although chemical composition and nutritional values were similar to KYKY.

Animal variables

Mean milk yield was 19 kg/cow/day, higher than reports by Pincay-Figueroa et al. (2016) who reported 17.6 kg/cow/day, and Velarde-Guillén et al. (2019) with mean yields of 17.5 kg/cow/day, working in the same area with small-scale dairy systems evaluating grazing as an alternative to cut and carry pastures of ryegrasses with white clover.

Plata-Reyes et al. (2018) evaluated pastures of three temperate grasses in comparison to kikuyu pastures, not finding significant differences ($P>0.05$) among pastures, and reported mean yields of 14.8 kg/cow/day.

Botha et al. (2008) reported from work in South Africa grazing Jersey cows on kikuyu pastures a decline in milk yields from 17 kg/cow/day during summer to 13 kg in autumn, related to decreasing herbage quality and production during the transition period from summer to autumn in temperate climate, which was not observed in the work herein reported.

There were no differences ($P>0.05$) between pastures or periods for milk fat content or protein. Values reported are lower than in other work, but within Mexican standards for raw milk.

MUN values are higher than reports by Celis-Alvarez et al. (2016) and Plata-Reyes et al. (2018) from work in the same study area, and higher than reports by Fukasawa et al. (2017) in Japan, but within the normal range between 11 and 18 mg MUN /dL in milk of Holstein cows (Powell et al., 2011).

Mean herbage DMI was 8.5 kg DM/cow/day, which was above the 8.0 kg DM/cow/day of calculated availability of herbage, indicating difficult grazing conditions for cows that might have ingested higher amounts of herbage if available, fully expressing their potential.

It is concluded that there is no advantage in associating tall fescue with kikuyu in the summer-autumn transition period for small-scale dairy systems; noting the possibilities of kikuyu pastures to sustain milk yields above 17 kg/cow/day in the conditions of small-scale dairy systems in the highlands at least till the onset of frosts in Autumn. Since kikuyu grass establishes naturally in pastures without establishment costs, it can be a preferred species for grazing in small-scale dairy farms.

Acknowledgments

Authors express gratitude to the farmers who participated in this experiment, whose privacy is respected by not disclosing their names. This work was undertaken thanks to funding by the Autonomous University of the State of Mexico (*Univerisdad Autónoma del Estado de México*) through grant UAEM 4487/2018/CI, and the Mexican National Council for Science and Technology (*CONACYT – Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología*) for the postgraduate grant for María Nayeli Marín-Santana. Our thanks also to Ms. Maria de Lourdes Maya-Salazar and Ms. Laura Edith Contreras-Martínez for their assistance in laboratory analyses.

Conflict of interest

Authors declare there are no conflicts of interests.

Statement on Ethical Standards and Animal Rights

The paper reports an on farm experiment undertaken with two participating farmers who had knowledge of the objectives of the work and were duly informed at all times, and their privacy and that of their family respected by not disclosing their names. Experimental procedures with dairy cows followed accepted procedures by *Universidad Autónoma del Estado de México*.

References

AFRC, 1993. Energy and Protein Requirements for Ruminants. An advisory manual prepared by the AFRC Technical Committee on Response to Nutrients. (CAB International, Wallingford, UK).

Anaya-Ortega, J.P., Garduño-Castro, G., Espinoza-Ortega, A., Rojo-Rubio, R. and Arriaga-Jordán, C.M., 2009. Silage from maize (*Zea mays*), annual ryegrass (*Lolium multiflorum*) or their

- mixture in the dry season feeding of grazing dairy cows in small-scale dairy production systems in the highlands of Mexico, *Tropical Animal Health and Production*, 41, 607-616.
- Botha, P.R., Meeske, R. and Snyman, H.A., 2008. Kikuyu over-sown with ryegrass and clover: grazing capacity, milk production and milk composition. *African Journal of Range and Forage Science*, 25 (3):103-110.
- Botha, P.R., Meeske, R. and Snyman, H.A., 2009. Kikuyu over-sown with ryegrass and clover: dry matter production, botanical composition and nutritional value, *African Journal of Range and Forage Science*, 25, 93-101.
- Bell, M.J., Eckard, R. J., Harrison, M. T., Neal, J.S. and Cullen, B.R., 2013. Effect of warming on the productivity of perennial ryegrass and kikuyu pastures in south-eastern Australia. *Crop and Pasture Science*. 64, 61–70.
- Celis-Álvarez, M. D., López-González, F., Martínez-García C. G., Estrada-Flores, J. G., and Arriaga-Jordán, C. M., 2016. Oat and ryegrass silage for small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 48, 1129–1134. DOI 10.1007/s11250-016-1063-0.
- Chaney A.L. and Marbach E.P., 1962 Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clinical Chemistry* 8: 130-132.
- Conroy C., 2005. *Participatory Livestock Research*. Bourton on Dunsmore, Warwickshire, UK: ITDG Publishing.

- Dobos R. C., Sinclair K., Hinch G. N., and Fulkerson W. J., 2009. Frequency distribution of sward height of kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) grass pastures intensively grazed by dairy cows. *Animal Production Science*, 49: 574-585.
- Espinoza-Ortega, A., Espinosa-Ayala, E., Bastida-López, J., Castañeda-Martínez, T., and Arriaga-Jordán C. M., 2007. Small-scale dairy farming in the highlands of central Mexico: Technical, economic and social aspects and their impact on poverty. *Experimental Agriculture*, 43, 241-256.
- Fukasawa, M., Kazajstán, M., Higashiyama, Y. and Komatsu, T., 2017. Relationship between the stockperson's attitudes and dairy productivity in Japan. *Animal Science Journal*, 88, 394-400.
- Fulkerson, W.J., Slack, K., Hennessy, D.W. y Hough G.M., 1998. Nutrients in ryegrass (*Lolium* spp.), white clover (*Trifolium repens*) and kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) pastures in relation to season and stage of regrowth in a subtropical environment. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 38: 227–40.
- Hernández-Mendo O. and Leaver J.D., 2006. Production and behavioural responses of high- and low-yielding dairy cows to different periods of access to grazing or to a maize silage and soyabean meal diet fed indoors. *Grass and Forage Science* 61: 335-346.
- Jensen, K. B., Waldron, B.L., Peel M. D., and Robins J.G., 2010. Nutritive value of herbage of five semi-irrigated pasture species across an irrigation gradient. *Grass and Forage Science*, 65: 92–101.

- Kaps M, Lamberson W. 2004. Change-over designs. Chapter 14. In: M. Kaps and W. Lamberson (eds), *Biostatistics for Animal Science*, Cromwell Press, Trowbridge, UK. 294 – 12.
- Lee, J.M., Clark, A.J., and Roche, J.R., 2013. Climate change effects and adaptation options for temperate pasture-based dairy farming systems: a review. *Grass and Forage Science*, 68, 485 – 503. DOI: 10.1111/gfs.12039.
- Marais, J.P., 2001. Factors affecting the nutritive value of kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) — a review, *Tropical Grasslands*, 35, 65–84
- Mayne, C.S., Wright, I., and Fisher G.E.J., 2000. Grassland management under grazing and animal response. In: Hopkins A. et al. (ed) *Grass: Its production and utilization*. Chapter 10, pp. 247-291. Oxford, UK: Blackwell Science.
- Pérez-Ramírez, E., Peyraud, J.L., and Delagarde, R., 2012. N-alkanes v. ytterbium/faecal index as two methods for estimating herbage intake of dairy cows fed on diets differing in the herbage: maize silage ratio and feeding level. *Animal*, 6, 232-244.
- Pincay-Figueroa P.E., López-González F., Velarde-Guillén J., Heredia-Nava D., Martínez-Castañeda F.E., Vicente F., Martínez-Fernández A. and Arriaga-Jordán C.M., 2016. Cut and carry vs. grazing of cultivated pastures in smallscale dairy systems in the central highlands of Mexico. *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, **110**, 349-363.
- Plata-Reyes, D. A., Morales-Almaraz, E., Martínez-García, C. G., Flores-Calvete, G., López-González, F., Próspero-Bernal, F., Valdez-Ruiz, C. L., Zamora-Juárez, Y. G. y Arriaga-Jordán, C. M., 2018. Milk production and fatty acid profile of dairy cows

- grazing four grass species pastures during the rainy season in small-scale dairy Systems in the highlands of Mexico, *Tropical Animal Health and Production*, 50, 1797–1805
- Powell, M., Wattiaux, A., and Broderick, G. A., 2011. Short communication: Evaluation of milk urea nitrogen as a management tool to reduce ammonia emissions from dairy farms, *Journal of Dairy Science*, 94, 4690-4695.
- Prospero-Bernal, F., Martinez-Garcia, C.G., Olea-Pérez, R., López-Gonzalez F. and Arriaga-Jordán, C.M., 2017. Intensive grazing and maize silage to enhance the sustainability of small-scale dairy systems in the highlands of Mexico, *Tropical Animal Health and Production*, 49, 1537–1544.
- Riveros E. and Argamentarías A., 1987. Métodos enzimáticos de predicción de la digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica de forrajes, *Avances en Producción Animal*, 12, 59–75.
- Scheneiter, O. and Amendola, C., 2012. Tiller demography in tall fescue (*Festuca arundinacea*) swards as influenced by nitrogen fertilization, sowing method and grazing management *Grass and Forage Science*, 67, 426-436.
- Velarde-Guillen, J., Estrada-Flores, J. G., Rayas-Amor, A.A., Vicente, F., Martinez-Fernandez, A., Heredia-Nava, D., Celis-Álvarez, M.D., Aguirre-Ugarte, I.K., Galindo-González, E. y Arriaga-Jordán, C.M., 2019. Supplementation of dairy cows with commercial concentrate or ground maize grain under cut-and-carry or grazing of cultivated pastures in small-scale systems in the highlands of central Mexico. *Animal Production Science*, 59, 368 – 375. <https://doi.org/10.1071/AN15375>

Table 1. Sward height and Net Herbage Accumulation (NHA).

	Mean				SEMT _x	SEMExP
	P1	P2	P3	TX		
Altura (cm)						
KYKY	7.1	5.5	5.45	6.02		
TF33	5.2	5.55	4.55	5.1		
CAJN	5.0	4.2	5.5	4.9	0.68 ^{NS}	0.51 ^{NS}
Mean for periods	5.8	5.1	5.2			
ANF (kg DM/ha)						
KYKY	603.0	304.9	223.2	377.03		
TF33	167.6	288.4	266	240.67		
CAJN	262.8	521	373.5	385.77	81.41 ^{NS}	42.86 ^{NS}
Mean for periods	344.47	371.43	287.57			
ANF/day (kg DM/ha/day)						
KYKY	43	21.77	15.94	26.90		
TF33	11.96	20.59	18.98	17.18		
CAJN	18.77	37.24	26.68	27.57	5.8 ^{NS}	3.06 ^{NS}
Mean for periods	24.58	26.53	20.53			

NHA= Net herbage accumulations; KYKY= Kikuyu grass; TF33= Kikuyu grass + Tall fescue cv. TF33; CAJN= Kikuyu grass +Tall fescue cv. Cajun II; P1=Period 1; P2=Period 2; P3=Period 3. SEMT_x= Standard Error of the Mean for pasture treatments (main plots); SEMExP= Standard Error of the Mean for experimental periods (split plot); NS= ($P>0.05$).

Table 2. Chemical composition, *in vitro* organic matter digestibility (IVOMD) and estimated metabolizable energy content (eME) of pastures and concentrate.

Variable	P1	P2	P3	Mean TX	SEMTx	SEMExP
DM (g/kg)						
KYKY	181.9	201.15	214.75	199.27		
TF33	210.15	213.45	238.45	220.68	13.85***	11.75***
CAJN	225.9	217.9	231.8	225.2		
Mean for Periods	205.98	210.83	228.33			
Interacción SEMTx*ExP						2.84*
OM (g/kg DM)						
KYKY	907.1	908.8	912.8	909.57		
TF33	884.01	901.13	890.49	891.88	9.3***	53.37***
CAJN	892.05	904.66	889.3	895.34		
Mean for Periods	894.39	904.86	897.53			
Interacción SEMTx*ExP						1.88*
CP (g/kg DM)						
KYKY	215.2	206.5	206.55	209.42		
TF33	188.9	189	146.95	174.95	18.44*	14.31***
CAJN	194.25	229.2	187.25	203.57		
Mean for Periods	199.45	208.23	180.25			
Interacción SEMTx*ExP						5.28**
NDF (g/kg DM)						
KYKY	401.1	432.25	429.6	420.98		
TF33	490.2	501.7	506.15	499.35	48.06*	17.08***
CAJN	479.8	535.3	510.05	508.38		
Mean for Periods	457.03	489.75	481.93			

Table 2. (continued).

Variable	P1	P2	P3	Mean TX	SEMTx	SEMExP
ADF (g/kg DM)						
KYKY	190.75	201.15	209.45	200.45		
TF33	225.35	225.5	228.15	226.33	15.23 ^{***}	5.03 ^{NS}
CAJN	221.1	232.05	228.75	227.3		
Mean for Periods	212.4	219.57	222.12			
IVOMD						
KYKY	746.9	790.2	736.9	759.4		
TF33	736.6	766.0	775.3	758.0	16.9 ^{NS}	1.5 ^{NS}
CAJN	767.8	686	734	729.3		
Mean for Periods	750.5	747.4	748.7			
eME MJ/kg MS						
KYKY	10.7	9.7	10.2	10.2		
TF33	10.2	10.8	10.8	10.6	0.22 ^{NS}	0.11 ^{NS}
CAJN	10.6	11.2	10.5	10.7		
Mean for Periods	10.5	10.5	10.5			
Commercial concentrate						
MS (g/kg)			909.3			
OM (g/kg DM)			915.7			
CP (g/kg DM)			152.3			
NDF (g/kg DM)			243.7			
FDA (g/kg DM)			97.7			
IVOMD (g/kg)			986.8			
ME (MJ kg/MS)			14.8			

DM= Dry matter; OM= Organic matter; CP= Crude protein; NDF= Neutral detergent fibre; ADF= Acid detergent fibre; IVOMD= *In vitro* organic matter digestibility. ME= Metabolizable energy. KYKY= Kikuyu grass; TF33= Kikuyu grass + Tall fescue cv. TF33; CAJN= Kikuyu grass +Tall fescue cv. Cajun II; P1=Period 1; P2=Period 2; P3=Period 3. SEMTx= Standard Error of the Mean for pasture treatments (main plots); SEMExP=

Standard Error of the Mean for experimental periods (split plot); SEMTx*ExP= Standard Error of the Mean for the interaction between treatments and experimental periods; NS= (P>0.05); *= P<0.05; **= P<0.01; ***= P<0.001

Table 3. Botanical composition of pastures (g/kg DM).

Variable	Treatment			Mean	SEMTx
	KYKY	TF33	CAJN		
Kikuyu	515.1	346.9	274.0	378.67	123.61 ^{NS}
Tall fescue	0.0	318.2	369.9	229.37	200.31 ^{NS}
White clover	236.1	69.9	48.8	118.27	102.56 ^{NS}
Other	153.2	173.6	263.7	196.83	58.80 ^{NS}
Dead	95.7	91.3	43.6	76.87	28.89 ^{NS}
Live	904.3	908.7	956.4	923.13	28.89 ^{NS}
Variable	Experimental Periods			Mean	SEMExP
	I	II	III		
Kikuyu	314.3	440.9	380.8	378.67	63.32 ^{NS}
Tall fescue	252.4	173.9	261.8	229.37	48.24 ^{NS}
White clover	119.8	97.5	137.5	118.27	20.01 ^{NS}
Other	221.0	220.6	149.0	196.87	41.42 ^{NS}
Dead	92.5	67.1	71.0	76.87	13.66 ^{NS}
Live	907.5	932.9	929.0	923.13	13.66 ^{NS}

KYKY= Kikuyu grass; TF33= Kikuyu grass + Tall fescue cv. TF33; CAJN= Kikuyu grass +Tall fescue cv. Cajun II; P1=Period 1; P2=Period 2; P3=Period 3. SEMTx= Standard Error of the Mean for pasture treatments (main plots); SEMExP= Standard Error of the Mean for experimental periods (split plot); NS= ($P>0.05$).

Table 4. Animal variables.

Variables	Treatment			SEM	P-Value	Experimental			SEM	P- Value
	KYKY	TF33	CAJN			Periods				
						I	II	III		
MY (kg/vaca/día)	19.46	18.51	19.5	0.64	0.489	20.2	19.43	17.84	0.64	0.06
Milk fat (g/kg)	30.56	30.76	29.22	0.57	0.161	31.12	29.5	29.92	0.57	0.159
Protein (g/kg)	27.61	27.55	27.68	0.25	0.945	27.5	27.27	28.07	0.25	0.115
Lactose (g/kg)	41.34	41.21	39.96	0.66	0.296	41.18	39.79	41.55	0.66	0.177
MUN (mg/dL)	15.18	14.8	14.8	0.61	0.576	13.79	14.77	15.75	0.61	0.115
LW (kg)	558.9	543.9	556.9	4.30	0.057	550.2	542.3	567.1	4.30	0.004*
BCS (1-5)	2.7	2.7	2.6	0.09	0.484	2.7	2.5	2.8	0.09	0.041*
Pasture DMI (kg DM/cow/day)	8.5	7.9	9.0	0.34	0.144	8.9	8.5	8.0	0.34	0.196

KYKY= Kikuyu grass; TF33= Kikuyu grass + Tall fescue cv. TF33; CAJN= Kikuyu grass +Tall fescue cv. Cajun II; SEM= Standard Error of the Mean); MY= Milk yield; MUN= Milk urea nitrogen; LW= Live weight; BCS= Body condition score; NS= P>0.05; *= P<0.05.

8.2. Informe de actividades Estancia de investigación en el Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (CIAM)

La estancia de investigación se realizó durante el cuarto semestre lectivo de la Maestría del 26 de abril a 19 de julio de 2019, bajo la tutela del Dr. Gonzalo Flores Calvete Jefe del Departamento de Pastos y Forrajes y del Dr. Cesar Resch Zafra responsable de Producción Animal.

Las actividades que se realizaron se enmarcan principalmente dentro de los trabajos de ejecución del proyecto FEADER AC2018-03 denominado **“AGRONOMIA, AMBIENTE, PRODUCTIVIDAD ANIMAL Y CALIDAD DE LA LECHE DE VACUNO EN SISTEMAS DE BAJO INPUT BASADOS EN HIERBA Y CULTIVOS FORRAJEROS ADAPTADOS A GALICIA”**, que se desarrolla en la estación experimental del CIAM en Mabegondo-Abegondo.

En dicho proyecto se evalúa la respuesta productiva de ganado lechero de raza Holstein en cinco sistemas de alimentación, a lo largo de una lactación completa.

Los animales permanecen estabulados y son alimentados con una ración completa elaborada a base de ensilados (S1: raigrás italiano anual y maíz forrajero; S2: mezcla de tréboles anuales con raigrás híbrido y maíz forrajero; S3: mezcla de tréboles anuales con raigrás híbrido y sorgo forrajero) y concentrados. En los otros dos sistemas los animales consumen pasto en primavera y otoño-invierno (S4: pradera de trébol violeta y raigrás inglés; S5: pradera monófito de raigrás inglés) y ensilados de las praderas respectivas complementados con concentrado durante las épocas de carencia de pasto en verano e invierno. Además se les suministraba diariamente 1 g/vaca al día de aceites esenciales; S1

control, S2 hoja de castaño, S3 flor de castaño, y S4 extracto de eucalipto, en la pulpa se soja. Durante cuatro periodos de tres semanas cada uno, con mediciones cada semana de alimentos y leche.

La colaboración se centró en las siguientes actividades:

8. 2. 1. Trabajo en campo

Alimentación con raciones completas mezcladas en carro *unifeed* a los grupos de vacas lactantes S1, S2 y S3. Medida de la ingesta individual en comederos automáticos. Toma de muestras de ingredientes de las raciones.

La alimentación se llevó a cabo diariamente, por la mañana. El proceso consistió en proporcionar el alimento de acuerdo al tratamiento, donde se dividía el total de la ración en tres comederos.

En el sistema 1, el total de la ración consistía en 356 kg de Materia Fresca (MF), componiéndose por 148 kg de ensilado de maíz, 178 kg de ensilado de ryegrass italiano, 12 kg de concentrado y 18 kg de soja. En promedio cada uno de los tres comederos iniciaba con 119 kg de MF.

En el sistema 2, el total de la ración consistía en 378 kg de Materia Fresca (MF), componiéndose dicha ración por 141 kg de ensilado de maíz, 207 kg de ensilado de una mezcla de raigrás y tréboles anuales, 12 kg de concentrado y 18 kg de soja. En promedio cada uno de los comederos iniciaba con 126 kg de MF de alimento.

Para la Estrategia 3, el total de la ración era para 12 vacas y consistía en 478 kg de Materia Fresca (MF), de alimento; componiéndose por 224 kg de ensilado de una mezcla de

raigrás y tréboles anuales, 221 kg de ensilado de sorgo, 3 kg de heno, 12 kg de concentrado y 18 kg de soja. Cada uno de los seis comederos iniciaba con 80 kg de MF de alimento.

Estos grupos de vacas permanecen en estabulación todo el día. El alimento que se les proporciona al día es pesado en los comederos mediante básculas digitales, estas básculas mediante un programa registran la cantidad de alimento que come cada vaca al día ya que cada vaca cuenta con un sensor individual que se registra cada que su cabeza entra al comedero; cuando la vaca sale el peso del alimento es diferente y el programa registra la diferencia de peso. Esto pasa con cada una de las vacas en estos tratamientos por lo que se estima así el consumo de cada vaca.

A cada uno de los tratamientos se tomaban muestras de la ración para obtener materia seca (MS) y análisis bromatológicos. Esta muestra de 300-350 g se obtenía de cada uno de los tres comederos y de diferentes partes del mismo.

En los grupos S4 y S5, manejo del pastoreo rotacional. Medidas sobre el pasto: determinación del pasto en oferta (pre-post pastoreo), movimiento del ganado basado en la altura de la hierba (regla graduada y pastómetro de plato), medidas de densidad de pasto.

Las vacas en las estrategias 4 y 5 pastaban 24 horas sus respectivas praderas.

El manejo de pastoreo rotacional, consistía en rotar los dos grupos de vacas (Pradera 1; raigrás inglés asociado con trébol violeta y Pradera 2; raigrás inglés) en pastoreo a una parcela diferente diariamente. Las medidas de las parcelas podían variar dependiendo de la densidad y altura del forraje.

Estas parcelas eran delimitadas mediante cerco eléctrico a las mismas se les tomaba la altura y se tomaban muestras antes y después de que fuesen pastoreadas. El procedimiento consistía en hacer tres tomas de muestra por parcela a través de un cuadrante (0.40 m²). El cuadrante era ubicado al azar tres veces en la parcela, dentro del cuadrante se tomaba la altura del forraje mediante 5 mediciones por medio de una regla y una medición mediante un pastómetro, posteriormente el área de este cuadrante se cortaba. Además de las tomas de altura de los cuadrantes, se hacían 20 mediciones en diagonal a lo largo de la parcela y se tomaba una muestra general del forraje (300 g en promedio) simulando el pastoreo de las vacas, esta muestra se utilizaba para el respectivo análisis bromatológico.

8. 2. 2. Trabajo en laboratorio

Procesado de muestras previas al análisis. Secado en estufas de gran capacidad, determinación del contenido en materia seca, molienda de muestras secas.

Todas las muestras de forraje tomadas, incluyendo las muestras de las raciones *unifeed*, las muestras de los cuadrantes antes y después de que las vacas pastaran las parcelas y las muestras del pastoreo simulado eran pesadas y colocadas en bandejas para posteriormente secarlas en una estufa de gran capacidad a una temperatura de 60 °C por 24 horas. La diferencia entre el peso en materia fresca y el peso posterior al secado nos brinda el contenido de materia seca.

Registro de espectros NIRS, obtención de predicciones de valor nutricional de forrajes frescos y ensilados.

Se colaboró en el análisis de alimentos mediante la técnica de Espectroscopía de Reflectancia en la Región de Infrarojo (NIRS) por sus siglas en inglés utilizando el equipo al analizar muestras de forrajes y de leche.

8. 2. 3. Elaboración de microsilos

Seguimiento de las labores de ensilado de cultivos de invierno (raigrás italiano y mezclas de tréboles anuales con raigrás híbrido).

El primer estudio tenía como objetivo la evaluación del efecto de la aplicación de un inoculante (SIL-ADD) a Raigrás híbrido y a una mezcla de raigrás híbrido y a 3 tréboles anuales (R3L).

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación del inoculante sobre el nivel de pérdidas y calidad fermentativa de mezclas de tréboles anuales (*Trifolium incarnatum*, *T. resupinatum ssp. resupinatum* y *T. michelianum*) con raigrás híbrido (*Lolium x boucheanum*), (R3L) en comparación con raigrás italiano (*Lolium multiflorum*), (R).

Posteriormente se realizó otro estudio con microsilos cuyo objetivo es evaluar el efecto de la adición de aceites esenciales de *Eucapiltus globulus* sobre la fermentación y estabilidad aeróbica de ensilados de raigrás y leguminosas anuales (R3L). R3L: mezcla de tres tréboles anuales (*Trifolium incarnatum*, *T. resupinatum ssp.resupinatum* y *T. michelianum*) con raigrás híbrido (*Lolium x boucheanum*). Las dosis de aceites esenciales fueron de: D1 (80 mg/kg Materia Fresca), D2 (160 mg/kg Materia Fresca), D3 (320 mg/kg Materia Fresca) y un control.

Elaboración de los microsilos: Se realizó el corte en las praderas y se hizo un pre secado de 24 horas, se recolectaron y se molieron, se obtuvo una muestra de 5 kg aproximadamente para microsilo, poder tampón y materia seca.

En el caso de los microsilos que llevan inoculante se agrega este a la muestra y se homogeniza, lo mismo ocurrió con los que llevaban dosis del aceite esencial *Eucapiltus globulus*. De esta muestra se toman 300 g para obtener materia seca y el resto se utiliza para el micro silo. Los microsilos se preparan en una bolsa de polietileno y dentro de un tubo PVC que realiza la función de contenedor; cuando el forraje es compactado dentro de la bolsa que a su vez ya se encuentra dentro del tubo, en el extremo se colocan dos rejillas de diferente tamaño las cuales servirán como colador del efluente y la tapa con un sistema especial integrado de forma que no permite que entre gas al microsilo pero sí que salga el efluente. Anteriormente todo el material se pesa antes de colocar el forraje al microsilo ya que de esta forma se lleva el registro de la salida del efluente que nos permitirá conocer la pérdida de efluente y así la materia seca del mismo. En total fueron 40 microsilos, 20 por cada tratamiento y de estos cinco repeticiones por tratamiento.

IX. CONCLUSIONES GENERALES

Se concluye que no hay ninguna ventaja en asociar Festuca alta con Kikuyo en el período de transición verano-otoño para sistemas de producción de leche en pequeña escala.

Las gramíneas son susceptibles a las estaciones del año, Kikuyo disminuye su producción en invierno principalmente, en esta parte del altiplano inclusive es desde otoño cuando se presentan las primeras heladas. Sin embargo esto no ocurrió durante el experimento, por lo que no se vio afectada la composición química de las praderas y se mantuvieron así durante el experimento.

Dado que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos y considerando que la pradera de Kikuyo se ha establecido naturalmente a diferencia de las de Festuca alta las cuales se tuvieron que establecer y por ende se utilizan más recursos sobre todo económicos, que con la pradera de Kikuyo, se puede inferir que el establecimiento de Kikuyo es la opción de preferencia para ser adaptada por los sistemas de producción de leche en pequeña escala, como base de la alimentación de las vacas en lactación.

IX. LITERATURA CITADA

- AFRC. (1993) Energy and Protein Requirements for Ruminants. An advisory manual prepared by the AFRC Technical Committee on Response to Nutrients. (CAB International, Wallingford, UK).
- ANAYA-ORTEGA, J.P., GARDUÑO-CASTRO, G., ESPINOZA-ORTEGA, A., ROJO-RUBIO, R. AND ARRIAGA-JORDÁN, C.M. (2009) Silage from maize (*Zea mays*), annual ryegrass (*Lolium multiflorum*) or their mixture in the dry season feeding of grazing dairy cows in small-scale dairy production systems in the highlands of Mexico, Tropical Animal Health and Production, 41, 607-616
- ANKOM TECHNOLOGY. (2005) Procedures (for NDF and ADF). In vitro true digestibility using the DAISY II incubator. Consultado en World Wide Web. <http://www.ankom.com>.
- ARRIAGA-JORDÁN, C.M., ESPINOZA-ORTEGA, A., ALBARRÁN- PORTILLO, B Y CASTELÁN ORTEGA, O. A. (1999) Producción de leche en pastoreo de praderas cultivadas: una alternativa para el Altiplano Central. Ciencia Ergo Sum, 6 (3).
- BELL, M.J., ECKARD, R. J., HARRISON, M. T., NEAL, J.S. AND CULLEN, B.R. (2013) Effect of warming on the productivity of perennial ryegrass and kikuyu pastures in south-eastern Australia. Crop and Pasture Science. 64, 61–70.
- BOTHA, P.R., MEESKE, R. AND SNYMAN, H.A. (2008) Kikuyu over-sown with ryegrass and clover: grazing capacity, milk production and milk composition. African Journal of Range and Forage Science, 25 (3):103-110.

- BOTHA, P.R., MEESKE, R. AND SNYMAN, H.A. (2009) Kikuyu over-sown with ryegrass and clover: dry matter production, botanical composition and nutritional value, *African Journal of Range and Forage Science*, 25, 93-101.
- CELIS-ÁLVAREZ, M. D., LÓPEZ-GONZÁLEZ, F., MARTÍNEZ-GARCÍA C. G., ESTRADA-FLORES, J. G., AND ARRIAGA-JORDÁN, C. M. (2016) Oat and ryegrass silage for small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 48, 1129–1134. DOI 10.1007/s11250-016-1063-0.
- CHANEY A.L. AND MARBACH E.P. (1962) Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clinical Chemistry* 8: 130-132.
- COFOCALEC. (2004) Consejo para el fomento de la Calidad de la Leche y sus Derivados A.C.NMX-F-700 COFOCALEC-2004. Sistema producto leche-alimento lácteo-leche cruda de vaca- Especificaciones fisicoquímicas sanitarias y métodos de prueba. Organismo Nacional de Normalización y de la Conformidad. Guadalajara Jalisco. México.
- CONROY C. (2005) *Participatory Livestock Research*. Bourton on Dunsmore, Warwickshire, UK: ITDG Publishing.
- COUGNON M., BAERT J., VAN WAES C., REHEUL D. (2013) Performance and quality of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb) and perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and mixtures of both species grown with or without white clover

(*Trifolium repens* L.) under cutting management. *Grass and Forage Science* (69) 666-677.

CULLEN B.R., BULLEN. D., HUTCHESON C., JACOBS J.L. AND DEIGHTON M.H.

(2017) Changes in nutritive characteristics associated with plant height and nutrient selection by dairy cows grazing four perennial pasture grasses. *Animal Production Science* (57) 1392-1397.

DOBOS R. C., SINCLAIR K., HINCH G. N., AND FULKERSON W. J. (2009)

Frequency distribution of sward height of kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) grass pastures intensively grazed by dairy cows. *Animal Production Science*, 49: 574-585.

ESCOBAR-CHARRY, M. A. (2018) Efecto de la madurez del pasto kikuyu (*cenchrus*

clandestinus Hochst. Ex chiov.) sobre la producción de biomasa y la composición nutricional en diferentes altitudes de la provincial de Ubaté, (unpublished PhD Tesis, Universidad Nacional de Colombia).

ESPINOZA-ORTEGA, A., ÁLVAREZ-MACÍAS, A., DEL VALLE, M. C., CHAUVETE,

M. (2005) La economía de los sistemas campesinos de producción de leche en el Estado de México. *Técnica Pecuaria en México* 43: 39-56.

ESPINOZA-ORTEGA, A., ESPINOSA-AYALA, E., BASTIDA-LÓPEZ, J.,

CASTAÑEDA-MARTÍNEZ, T., AND ARRIAGA-JORDÁN C. M. (2007) Small-scale dairy farming in the highlands of central Mexico: Technical, economic and social aspects and their impact on poverty. *Experimental Agriculture*, 43, 241-256.

FADUL-PACHECO L, WATTIAUX M.A., ESPINOZA-ORTEGA A, SÁNCHEZ-VERA

E, ARRIAGA-JORDAN C. M. (2013) Evaluation of sustainability of smallholder dairy production systems in the Highlands of Mexico during the rainy season. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 8:882-901.

FAO (2016) Producción y Sanidad Animal. Situación de la lechería en América Latina y el Caribe en 2011. Informe producido en el ámbito del Observatorio de la cadena láctea de América Latina y el Caribe. Federación Panamericana de Lechería (FEPALE).

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2013) Grassland species. <http://www.fao.org/> (Noviembre de 2018).

FUKASAWA, M., KAZAJSTÁN, M., HIGASHIYAMA, Y. AND KOMATSU, T. (2017) Relationship between the stockperson's attitudes and dairy productivity in Japan. *Animal Science Journal*, 88, 394-400.

FULKERSON, W.J., SLACK, K., HENNESSY, D.W. Y HOUGH G.M. (1998) Nutrients in ryegrass (*Lolium* spp.), white clover (*Trifolium repens*) and kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) pastures in relation to season and stage of regrowth in a subtropical environment. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 38: 227-40.

HEREDIA-NAVA D., ESPINOZA- ORTEGA A., GONZÁLEZ- ESQUIVEL C.E., ARRIAGA-JORDÁN C. M. (2007) Feeding strategies for small-scale dairy systems based on perennial (*Lolium perenne*) or annual (*Lolium multiflorum*) ryegrass in the central highlands of Mexico. *Trop Animal Health Prod* 39, 179-188.

HERNÁNDEZ-MENDO O. AND LEAVER J.D. (2006) Production and behavioural responses of high- and low-yielding dairy cows to different periods of access to grazing or to a maize silage and soyabean meal diet fed indoors. *Grass and Forage Science* 61: 335-346.

HODGSON, J. (1994) Manejo de pastos, teoría y práctica. Diana, México. Pág. 225-232.

JENSEN, K. B., WALDRON, B.L., PEEL M. D., AND ROBINS J.G. (2010) Nutritive value of herbage of five semi-irrigated pasture species across an irrigation gradient. *Grass and Forage Science*, 65: 92–101.

JUÁREZ-DÁVILA L.E., PLATA-REYES D.A., MORALES ALMARAZ E, Y ARRIAGA JORDÁN C.M. (2017) Impacto del sistema de alimentación sobre el perfil de los ácidos grasos de la leche en sistemas de producción de leche en pequeña escala. XLIV Reunión Científica AMPA 2017, Clima y Ganadería: Productividad sustentable.

KAPS M, LAMBERSON W. (2004) Change-over designs. Chapter 14. In: M. Kaps and W. Lamberson (eds), *Biostatistics for Animal Science*, Cromwell Press, Trowbridge, UK. 294 – 12.

LEE, J.M., CLARK, A.J., AND ROCHE, J.R. (2013) Climate change effects and adaptation options for temperate pasture-based dairy farming systems: a review. *Grass and Forage Science*, 68, 485 – 503. DOI: 10.1111/gfs.12039.

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

- MARTÍNEZ-GARCIA, C.G., RAYAS-AMOR, A., ANAYA-ORTEGA, J.P., MARTÍNEZ-CASTAÑEDA, F.E., ESPINOZA-ORTEGA, A., PROSPERO-BERNAL, F., ARRIAGA-JORDÁN, C.M. (2015) Performance of small-scale dairy farms in the highlands of central Mexico during the dry season under traditional feeding strategies. *Tropical Animal Health and Production* 47: 331-337.
- MAYNE, C.S., WRIGHT, I., AND FISHER G.E.J. (2000) Grassland management under grazing and animal response. In: Hopkins A. et al. (ed) *Grass: Its production and utilization*. Chapter 10, pp. 247-291. Oxford, UK: Blackwell Science.
- ÖZKAN S, HILL J, CULLEN B. (2015) Effect of climate variability on pasture-based dairy feeding systems in south-east Australia. Department of Agriculture and Food Systems. University of Melbourne, Parkville, *Animal Production Science*, 55: 1106-1116.
- PÉREZ-RAMÍREZ, E., PEYRAUD, J.L., AND DELAGARDE, R. (2012) N-alkanes v. ytterbium/faecal index as two methods for estimating herbage intake of dairy cows fed on diets differing in the herbage: maize silage ratio and feeding level. *Animal*, 6, 232-244.
- PINCAY-FIGUEROA P.E., LÓPEZ-GONZÁLEZ F., VELARDE-GUILLÉN J., HEREDIA-NAVA D., MARTÍNEZ-CASTAÑEDA F.E., VICENTE F., MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ A. AND ARRIAGA-JORDÁN C.M. (2016). Cut and carry vs. grazing of cultivated pastures in smallscale dairy systems in the central highlands of Mexico. *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, **110**, 349-363.

PLATA-REYES, D. A. (2018) Evaluación de diferentes gramíneas para praderas bajo pastoreo en sistemas de producción de leche en pequeña escala del altiplano central de México. Tesis, Universidad Autónoma del Estado de México.

PLATA-REYES, D. A., MORALES-ALMARAZ, E., MARTÍNEZ-GARCÍA, C. G., FLORES-CALVETE, G., LÓPEZ-GONZÁLEZ, F., PRÓSPERO-BERNAL, F., VALDEZ-RUIZ, C. L., ZAMORA-JUÁREZ, Y. G. Y ARRIAGA-JORDÁN, C. M. (2018) Milk production and fatty acid profile of dairy cows grazing four grass species pastures during the rainy season in small-scale dairy Systems in the highlands of Mexico, *Tropical Animal Health and Production*, 50, 1797–1805

POWELL, M., WATTIAUX, A., AND BRODERICK, G. A. (2011) Short communication: Evaluation of milk urea nitrogen as a management tool to reduce ammonia emissions from dairy farms, *Journal of Dairy Science*, 94, 4690-4695.

PROSPERO-BERNAL F., ARRIAGA-JORDÁN C.M. (2017a) Evaluación de la sostenibilidad de sistemas de producción de leche en pequeña escala. *Producción Animal en los ecosistemas de México. Asociación Mexicana para la producción animal y seguridad alimentaria A. C. AMPA.*

PROSPERO-BERNAL F., ARRIAGA-JORDÁN C.M. (2017b) Efecto de las estrategias de alimentación en los costos de producción de leche en pequeña escala en el altiplano central de México. *XLIV Reunión Científica AMPA 2017, Clima y Ganadería: Productividad sustentable.*

PROSPERO-BERNAL, F., MARTINEZ-GARCIA, C.G., OLEA-PÉREZ, R., LÓPEZ-

GONZALEZ F. AND ARRIAGA-JORDÁN, C.M. (2017) Intensive grazing and maize silage to enhance the sustainability o small-scale dairy systems in the highlands of Mexico, Tropical Animal Health and Production, 49, 1537–1544.

RAO I., PETERS M., CASTRO A., SCHULTZE-KRAFT R., WHITE D., FISHER M.,

MILES J., LASCANO C., BLÜMMEL M., BUNGENSTAB D., TAPASCO J., HYMAN G., BOLLIGER A., PAUL B., HOEK R., MAASS B., TIEMANN T., CUCHILLO M., DOUXCHAMPS S., VILLANUEVA C., RINCÓN A., AYARZA M., ROSENSTOCK T., SUBBARAO G., ARANGO J., CARDOSO J., WORTHINGTON M., CHIRINDA N., NOTENBAERT A., JENET A., SCHMIDT A., VIVAS N., LEFROY R., FAHRNEY K., GUIMARÃES E., TOHME J., COOK S., HERRERO M., CHACÓN M., SEARCHINGER T. AND RUDEL T. (2015) The sustainable intensification of forage-based agricultural systems to improve livelihoods and ecosystem services in the tropics. International Center for Tropical Agriculture. 407 ed.

REASIDE M.C., FRIEND M.A., BEHRENDT R., LAWSON A.R AND CLARK S.G.

(2012) Evaluation of tall fescue (Festuca arundinacea) as a forage for sheep in the temperate high-rainfall zone of south-eastern Australia. Grass and Forage Science. 67, 411-425.

RIVEROS E. AND ARGUMENTARÍA A. (1987) Métodos enzimáticos de predicción de

la digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica de forrajes, Avances en Producción Animal, 12, 59–75.

SCHENEITER, O. AND AMENDOLA, C. (2012) Tiller demography in tall fescue (*Festuca arundinacea*) swards as influenced by nitrogen fertilization, sowing method and grazing management *Grass and Forage Science*, 67, 426-436.

SIAP. SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA. (2015) Panorama de la lechería en México. http://www.siap.gob.mx/wpcontent/uploads/boletinleche/Brochure_leche_DIC2015.pdf (4 de Agosto de 2018)

SIAP. SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA. (2016) Boletín de la leche. http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/119412/B_de_Leche_abril-junio_2016_.pdf

SIAP-SAGARPA (2010) Sistema de Información Agroalimentaria y pesquera. www.siap.gob.mx

STROUP W. W., HILDEBRAND P. E. AND FRANCIS C. A. (1993) Farmer participation for more effective research in sustainable agriculture. *Technologies for Sustainable Agriculture in the Tropics*. (Eds) Regland J and Rattan L. Soil Science Society of America, Inc., Madison (WI): American Society of Agronomy, Inc. and Crop Science Society of America, Inc, 153–86.

TEUBER N., BALOCCHI O. Y PARGA J. (2007) Manejo del pastoreo. América. Osorno, Chile.

VAN SOEST, P.J. B. ROBERTSON, LEWIS BA. (1991) Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal Dairy Science*, 74:3583–3597.

VELARDE-GUILLEN, J., ESTRADA-FLORES, J. G., RAYAS-AMOR, A.A., VICENTE, F., MARTINEZ-FERNANDEZ, A., HEREDIA-NAVA, D., CELIS-ÁLVAREZ, M.D., AGUIRRE-UGARTE, I.K., GALINDO-GONZÁLEZ, E. Y ARRIAGA-JORDÁN, C.M. (2019) Supplementation of dairy cows with commercial concentrate or ground maize grain under cut-and-carry or grazing of cultivated pastures in small-scale systems in the highlands of central Mexico. *Animal Production Science*, 59, 368 – 375.
<https://doi.org/10.1071/AN15375>

WATTIAUX MA. (2002) Grados de condición corporal. . En Instituto Babcock para la investigación y Desarrollo Internacional de la Industria Lechera Universidad de Wisconsin-Madison. Disponible en <http://babcock.wisc.edu/es/node/143> (04 de noviembre de 2018).

X. ANEXOS

11.1. Datos pre-experimentales de las vacas usadas en el experimento

Vaca	PL total	Peso vivo	CC	No. Partos	Días en lactación
6970	30	591	3	3	60
6433	30	568	2.5	6	3
6976	30	561	2.5	5	45
6969	25	471	3	3	150
6972	25	485	3	3	150
1496	25	623	2.5	4	90
5940	20	544	2.5	3	150
5943	20	521	3	1	120
5939	17	623	2.5	3	120

PL= Producción de Leche (g de leche/ vaca/día) y **CC**=Condición corporal (1-5)

11. 2. Promedio de variables medidas de producción de forraje por tratamiento y periodo

11.2.1. Disponibilidad de forraje

Pradera	Periodo	Altura		
		(cm)	ANF (kg MS/ha)	ANF/día(kgMS/ha·día)
Kikuyo	1	7.1	602.5	43
Kikuyo	2	5.5	304.8	21.7
Kikuyo	3	5.4	223.2	15.9
TF33	1	5.2	167.5	11.96
TF33	2	4.5	288.3	20.5
TF33	3	4.5	265.8	18.9
Cajun	1	5	262.8	18.7
Cajun	2	4.2	521.3	37.2
Cajun	3	5.5	373.5	26.6

ANF=Acumulación Neta de Forraje.

11. 2. 2. Composición bromatológica (g/kg de MS) y estimación de Energía Metabolizable (MJ kg/MS)

Pradera	Periodo	MS	MO	CN	PC	FDN	FDA	DIVMO	eME
Kikuyo	1	181.9	907.1	92.9	215.2	401.1	190.7	746.9	10.6
Kikuyo	2	201.1	908.8	91.2	206.5	432.2	201.1	790.2	11.2
Kikuyo	3	214.7	912.8	87.2	413.1	429.6	209.4	736.9	10.5
TF33	1	210.1	884	116	188.9	490.2	225.3	736.6	10.2
TF33	2	213.4	901.1	98.9	189	501.7	225.5	766	10.8
TF33	3	238.4	890.4	109.6	146.9	506.1	228.1	775.3	10.7
Cajun	1	225.9	892.0	108	194.2	479.8	221.1	767.8	10.7
Cajun	2	217.9	904.6	95.4	229.2	535.5	232	686	10
Cajun	3	231.8	889.3	110.7	187.2	510	228.7	734	10.2

MS=Materia Seca; **PC**= Proteína Cruda; **MO**= Materia Orgánica; **CN**=Cenizas; **FDN**= Fibra Detergente Neutro; **FDA**=Fibra Detergente Ácido; **DIVMO**=Digestibilidad *in vitro* de la Materia Orgánica; **eEM**=Energía Metabolizable.

11. 3. Promedio de variables medidas de producción de animal por tratamiento y periodo

11.3.1 Variables medidas en las vacas

Cuadro	Vaca	TX	Periodo	PL	PV	CC
1	6970	Kikuyo	1	20.3	628.0	3.0
1	6970	TF33	2	18.7	620.0	3.0
1	6970	Cajun	3	18.4	634.0	3.5
1	6433	TF33	1	22.2	554.0	2.5
1	6433	Cajun	2	27.3	568.0	2.0
1	6433	Kikuyo	3	28.1	616.0	3.0
1	6976	Cajun	1	25.5	572.0	3.0
1	6976	Kikuyo	2	25.0	580.0	3.5
1	6976	TF33	3	21.5	576.0	3.0
2	6969	Cajun	1	18.1	512.0	2.5
2	6969	TF33	2	16.0	492.0	2.5
2	6969	Kikuyo	3	14.2	512.0	3.0
2	6972	Kikuyo	1	14.7	520.0	2.5
2	6972	Cajun	2	14.5	512.0	2.5
2	6972	TF33	3	9.7	516.0	3.0
2	1496	TF33	1	23.2	556.0	3.0
2	1496	Kikuyo	2	19.0	558.0	2.0
2	1496	Cajun	3	19.0	568.0	2.5
3	5940	TF33	1	22.0	510.0	2.5
3	5940	Kikuyo	2	19.0	510.0	2.0

*Evaluación de praderas de pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*/*Cenchrus clandestinus*) en transición verano-otoño, solo o asociado con alta fescue (*Festuca arundinacea*/*Lolium arundinaceum*) en sistemas de producción de leche en pequeña escala.*

3	5940	Cajun	3	16.7	568.0	2.5
3	5943	Cajun	1	18.9	524.0	2.5
3	5943	TF33	2	18.2	487.0	2.5
3	5943	Kikuyo	3	17.9	530.0	2.5
3	5939	Kikuyo	1	17.0	576.0	3.0
3	5939	Cajun	2	17.1	554.0	2.5
3	5939	TF33	3	15.2	584.0	3.0

PL=Producción de Leche; **PV**=Peso Vivo; **CC**=Condición corporal; **TX**=Tratamiento

11. 4. Promedio de las variables medidas de las características fisicoquímicas grasa, proteína y lactosa (g/kg) y Nitrógeno Ureico en Leche (mg/dL) de la leche por tratamiento y por periodo.

Cuadro	Vaca	TX	Periodo	Grasa	Proteína	Lactosa	NUL
				g/kg	g/kg	g/kg	mg/dL
1	6970	Kikuyo	1	34.82	30.6	45.8	13.3
1	6970	TF33	2	30.22	28.97	43.37	15.1
1	6970	Cajun	3	30.27	29.5	44.15	12.8
1	6433	TF33	1	33.9	26.75	40.07	11.9
1	6433	Cajun	2	27.35	26.57	39.82	13.3
1	6433	Kikuyo	3	30.62	27.12	40.6	14.8
1	6976	Cajun	1	28.45	26.07	39.05	12.2
1	6976	Kikuyo	2	28.35	25.92	38.82	13.2
1	6976	TF33	3	25.82	25.7	38.47	15.1
2	6969	Cajun	1	30.7	27.62	41.35	16.8
2	6969	TF33	2	30.7	27.9	41.7	16.8
2	6969	Kikuyo	3	33.17	28.05	43.22	14.3
2	6972	Kikuyo	1	30.82	26.9	40.25	10.5
2	6972	Cajun	2	33.37	27.82	41.67	16
2	6972	TF33	3	35.12	29.95	44.8	13.7
2	1496	TF33	1	32.27	27.3	40.9	13.6
2	1496	Kikuyo	2	31.5	27.15	40.62	12.3
2	1496	Cajun	3	29.65	29.65	40.37	14.1
3	5940	TF33	1	32.15	27.52	41.2	16.7

*Evaluación de praderas de pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*/*Cenchrus clandestinus*) en transición verano-otoño, solo o asociado con alta fescue (*Festuca arundinacea*/*Lolium arundinaceum*) en sistemas de producción de leche en pequeña escala.*

3	5940	Kikuyo	2	29.47	27.35	41	14.2
3	5940	Cajun	3	28.5	27.67	41.47	18.8
3	5943	Cajun	1	28.32	27.37	41	13.6
3	5943	TF33	2	28.17	26.92	40.32	15.9
3	5943	Kikuyo	3	27.67	27.22	40.75	20.3
3	5939	Kikuyo	1	28.67	27.42	41.07	15.5
3	5939	Cajun	2	26.42	26.87	30.75	16.2
3	5939	TF33	3	28.5	27.02	40.12	17.9

TX=Tratamiento; **NUL**=Nitrógeno Ureico en Leche.

