



**DESEMPEÑO PRODUCTIVO DE VACAS LECHERAS
ALIMENTADAS CON PRADERAS DE KIKUYO
SOBRESEMBRADAS CON CENTENO EN SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN DE LECHE EN PEQUEÑA ESCALA EN LOS
VALLES ALTOS DE MÉXICO †**

**[PRODUCTIVE PERFORMANCE OF GRAZING DAIRY COWS ON
KIKUYU GRASS PASTURES OVERSEEDDED WITH RYE IN SMALL-
SCALE DAIRY SYSTEMS IN THE HIGHLANDS OF MEXICO]**

**María Nayeli Marín-Santana¹, Felipe López- González¹,
Ernesto Morales-Almaraz², Dalia Andrea Plata-Reyes¹
and Carlos Manuel Arriaga Jordán¹**

¹ *Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), Universidad
Autónoma del Estado de México, Campus UAEM El Cerrillo Piedras
Blancas, 50090 Toluca, Estado de México, México. E-mails:
mmarins222@alumno.uaemex.mx; flopezg@uaemex.mx;
dplatar144@alumno.uaemex.mx; cmarriagaj@uaemex.mx**

² *Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del
Estado de México. Campus UAEM El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas,
Toluca, Estado de México, México, CP 50090. E-mail:
emoralesa@uaemex.mx
Corresponding author

SUMMARY

Background: Small-scale dairy systems contribute to mitigate rural poverty as they provide a stable source of incomes to farming families, and also contribute with over 30% of national milk production. However, the dependency on external inputs affects their profitability and sustainability, which added to difficult agroclimatic conditions and limiting management factors as high stocking rate in pastures. It is therefore necessary to evaluate feeding strategies better adapted to conditions in these systems to improve cattle diets based on quality forages reducing external dependency and thus, costs. A means to increase herbage yields in pastures is overseeding with annual fast-growing cereals. **Objective:** The objective was to evaluate the productive performance of dairy cows on two feeding strategies based on grazing, and the analysis of costs in small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. **Methodology:** Eight Holstein cows were used on continuous day grazing (8 h/day) under on-farm research with a double cross-over design. Treatments were: continuous intensive grazing of Kikuyu grass pastures (KY) or Kikuyu grass overseeded with rye (KYCEN) from 6:00 to 16:00 h, plus 4.5 kg DM/day of commercial concentrate. Two groups of four cows balanced for days in milk and daily milk yield were formed, and each group randomly assigned to one of the treatment sequences: KY-KYCEN-KY y KYCEN-KY-KYCEN, with three experimental periods of 14-day each, with 10 days for adaptation to diets and four days for sampling. Pastures were assessed with a split-plot design. Records were for milk yield and composition, live weight and body condition. A partial budget analysis was performed to compare income and feeding costs. **Results:** There were no statistical differences ($P>0.05$) in productive performance, with mean 3.5% fat corrected milk yield of 17 kg/cow/day, with 36.6 g/kg, 28.5 g/kg and 43.4 g/kg for milk fat, protein and lactose respectively. There were no significant differences ($P>0.05$) between treatments for sward height or herbage mass, but there were significant differences ($P<0.05$) for DM and OM content between treatments, and for CP, NDF, ADF, IVDMD, and EM ($P<0.05$) between periods. **Implications:** In the face of complex agroecological scenarios for small-scale dairy systems, it is necessary to

† Submitted November 16, 2022 – Accepted June 28, 2023. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4621>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
ISSN: 1870-0462.

ORCID = M.N. Marín-Santana: <http://orcid.org/0000-0002-6033-8172>; F. López- González: <http://orcid.org/0000-0002-5518-5458>; E. Morales-Almaraz: <http://orcid.org/0000-0003-0675-2193>; D.A. Plata-Reyes: <http://orcid.org/0000-0001-9017-1177>; C.M. Arriaga-Jordán: <http://orcid.org/0000-0002-6140-0847>

assess forages better adapted for these conditions as the inclusion of a fast growing cereal as rye to increase pasture production and increase the forage base in the diets with farm resources as Kikuyo grass, in order to increase the profitability of farms. **Conclusions:** Since there were no statistical differences in the productive performance of dairy cows, or in economic performance, the conclusion is that treatment KY is the recommended option for this season. Treatment KYCEN requires expenditures in seed and labour, so that it is not a viable option for small-scale dairy systems in this season.

Key words: Kikuyu grass; rye; grazing; cost analysis.

RESUMEN

Antecedentes: Los sistemas de producción de leche en pequeña escala contribuyen a aliviar la pobreza rural, ya que son una fuente de ingresos estables para las familias dedicadas a este sector y contribuyen con más del 30% de suministro nacional de leche. Sin embargo, su rentabilidad y sostenibilidad se ven afectadas debido a la dependencia de insumos externos aunado a condiciones agroclimáticas difíciles y a factores de gestión y manejo limitantes como la disminución de agua para riego y una carga animal alta en las praderas. Por lo tanto, es necesario evaluar estrategias de alimentación que se adapten mejor a las condiciones reales de los sistemas de producción y logren mejorar los recursos forrajeros que son la base de la alimentación del ganado lechero disminuyendo así la dependencia externa al hacer uso de los recursos de tierra, trabajo y capital propios, lo que finalmente repercutirá en los costos de producción, una alternativa a esto es sobresembrar praderas perennes con especies de gramíneas anuales de rápido crecimiento para aumentar el rendimiento de forraje. **Objetivo:** El objetivo de este estudio fue evaluar el desempeño productivo de vacas lecheras alimentadas con dos estrategias de alimentación en pastoreo y el análisis de costos en sistemas de producción de leche en pequeña escala, en los Valles Altos del centro de México. **Metodología:** Se seleccionaron ocho vacas Holstein en pastoreo continuo diurno (8 horas/día) mediante experimentación en finca en un diseño experimental doble reversible. Los tratamientos fueron: pastoreo continuo intensivo de praderas de Kikuyo (KY), o Kikuyo sobresembrado con Centeno (KYCEN) de 08:00h a 16:00h, más 4.5 kg de MS/día de concentrado comercial. Se formaron dos grupos de cuatro vacas balanceados en función de los días en lactación y rendimiento diario de leche. Posteriormente, cada grupo se asignó aleatoriamente a una de las secuencias de tratamientos: KY-KYCEN-KY y KYCEN-KY-KYCEN, durante tres periodos experimentales de catorce días cada uno, donde diez días fueron para la adaptación de las vacas a la dieta y cuatro días de medición, registro de datos y recolección de muestras. Para la evaluación de las praderas se utilizó un diseño de parcelas divididas. Se registró el rendimiento y la composición química de la leche, el peso vivo y la condición corporal. Se realizó un análisis de presupuestos parciales que comparó los ingresos y costos de alimentación para cada tratamiento. **Resultados:** No se detectaron diferencias estadísticamente significativas ($P>0.05$) para las variables del desempeño productivo; registrando rendimientos promedio de 17 kg/vaca/día de leche corregida a 3.5% de grasa, con valores de 36.6 g/kg, 28.5 g/kg y 43.4 g/kg para grasa, proteína y lactosa, respectivamente. No hubo diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($P>0.05$) para altura de la pradera medida con pastómetro, ni para la altura medida con flexómetro. Tampoco se detectaron, diferencias significativas por tratamientos para los valores promedio de masa herbácea ($P>0.05$). Para ninguna de las variables de composición química del forraje de las praderas se encontraron diferencias significativas ($P>0.05$). **Implicaciones:** Optimizar los recursos de las unidades de producción al incluir un cereal de rápido crecimiento de clima templado como el Centeno con un pasto de clima subtropical ampliamente distribuido en la región de estudio como el Kikuyo, adaptado a las condiciones reales frente a los escenarios agroecológicos complejos de los sistemas de producción de leche en pequeña escala promueve el interés de continuar con la búsqueda y evaluación de las estrategias de manejo tendientes a producir forraje de buena calidad base de la alimentación del ganado lechero. **Conclusiones:** El tratamiento KY durante la época del año evaluada permitió identificar su potencial y destaca el mínimo manejo agronómico necesario contrario a lo registrado en el tratamiento de KYCEN y las características adicionales de manejo en función de los costos extras de semilla y trabajo agrícola que lo colocan por encima del tratamiento KYCEN.

Palabras clave: Pasto Kikuyo; Centeno; pastoreo; análisis de costos.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) son una opción para aliviar la pobreza rural y mejorar la producción de alimentos en los países en desarrollo. Aproximadamente del 80 al 90% de la producción lechera de los países en

desarrollo se produce en sistemas agropecuarios en pequeña escala (FAO, 2019).

En México los SPLPE contribuyen con más del 30% de la producción lechera nacional, y permiten a las familias productoras superar la pobreza rural (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007; Ruiz-Torres *et al.*,

2022). Sin embargo, la dependencia de insumos externos afecta la rentabilidad y la sostenibilidad de estos sistemas. Por lo que es muy importante aprovechar al máximo los recursos con los que cuentan las unidades de producción (Prospero-Bernal *et al.*, 2017). La implementación del pastoreo de praderas cultivadas ha demostrado su viabilidad al reducir costos de producción. No obstante, en la actualidad se han registrado periodos de lluvias erráticas por lo que la disminución de la disponibilidad de agua de riego durante la época seca es cada vez más marcada, lo que provoca estrés hídrico, disminución en el rendimiento y menor calidad del forraje de las praderas, ante este panorama se requiere estudiar especies que se adapten a estas condiciones agroclimáticas (Plata-Reyes *et al.*, 2021).

El pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) es una gramínea subtropical del este de África, naturalizado en las tierras altas templadas y subtropicales de México. Es de naturaleza invasiva debido a su crecimiento a través de sus rizomas y estolones (Marais, 2001). Tanto su rendimiento como valor nutritivo se han reportado en estudios previos similares a los de pastos de clima templado como el Rye Grass (*Lolium perenne*) y Festuca alta (*Lolium arundinaceum*) durante la temporada de lluvias, con valores promedio de proteína cruda de 181.72 g/kg de MS, digestibilidad *in vitro* de MO de 675.41 g/kg de MS y con una energía metabolizable de 10.51 MJ/kg MS, (Plata-Reyes *et al.*, 2018; Marín-Santana *et al.*, 2020; Plata-Reyes *et al.*, 2021).

Por otro lado, los cereales de grano pequeño desempeñan un papel importante para sistemas de cultivo sostenibles. El Centeno (*Secale cereale*) es un cereal de invierno que se establece rápidamente, prospera en condiciones agroecológicas difíciles como bajas temperaturas y limitado riego (Gómez-Miranda *et al.* 2022). Tiene un gran potencial de producción (Woli *et al.*, 2016), por lo que puede desempeñar un papel importante en los SPLPE para aumentar la producción de forraje en las unidades de producción durante una época en la cual la producción de Kikuyo no es suficiente para satisfacer las necesidades de forraje de buena calidad destinado para alimentación de ganado lechero.

El Kikuyo proporciona un forraje productivo y persistente, con buenos rendimientos dadas sus altas tasas de crecimiento durante el verano y el otoño (Marín *et al.*, 2021). Sin embargo, Van der Colf *et al.* (2015a) mencionan que el Kikuyo tiene la desventaja de tener un crecimiento

marcadamente estacional y bajo contenido de energía metabolizable, lo que ocasiona una baja producción de leche, por lo que algunos estudios proponen la sobre siembra de pasto Kikuyo con variedades como ballico perenne (*Lolium perenne*) o anual (*Lolium multiflorum*) o cereales de grano pequeño con la finalidad de incrementar la producción de forraje durante la primavera y el verano (Van der Colf *et al.*, 2015b).

En todo sistema basado en pastoreo, se debe considerar la selección de especies de gramíneas, leguminosas y cereales a partir de las características, necesidades y de cómo afectarán a la disponibilidad de forraje, para obtener un máximo beneficio y lograr que las especies se complementen en lugar de reemplazarse. La sobresiembra de pastos de Kikuyo establecidos con cereales de grano pequeño puede proporcionar una disponibilidad de forraje estacional más uniforme, aumentar la producción de leche y sobre todo extender la temporada de producción de pasto especialmente en climas templados a finales del otoño, invierno y principios de la primavera. Un estudio realizado en China mostró esta extensión de la producción de forraje al evaluar la sobresiembra de Triticale, Centeno y Ballico anual sobre praderas de *Hemarthria compressa* (pasto estrella roja, o *whipgrass* en inglés) con el fin de aumentar la producción de forraje de otoño-primavera y de la siguiente temporada (Yang *et al.*, 2010) aumentando significativamente la producción de forraje tanto en la primera cosecha (crecimiento primario) como en cosechas posteriores. Además, Yang *et al.* (2010) mencionan que los forrajes de clima templado como los cereales de grano pequeño proporcionan control de malezas en primavera y ayudan a evitar la erosión. El objetivo de este estudio fue evaluar el rendimiento de producción de forraje, producción animal y presentar el análisis de costos del pastoreo de Kikuyo sobresembrado con Centeno en sistemas de producción de leche en pequeña escala.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo consistió en un experimento en finca con un productor participante de acuerdo con las pautas para el desarrollo participativo de tecnología ganadera (Conroy, 2005) en el municipio de Aculco, Estado de México, ubicado entre 20° 06' y 20° 17' Norte y 99° 40' y 100° 00' Oeste, con una altitud media de 2440 m, y un clima templado subhúmedo con una temperatura media de 13.2 °C. Se presentan heladas de octubre a febrero y precipitaciones anuales superiores a 700 mm con una estación lluviosa de mayo a octubre y una

estación seca de noviembre a abril (García, 1988). Las parcelas donde se realizó dicho experimento se ubican entre 20° 08'06.8" Norte y 99° 53'26.5" Oeste, en un pueblo perteneciente al municipio de Aculco llamado La Concepción.

Cultivo del cereal

Después de un rastreo previo (con rastra de discos), el 09 de abril de 2021 se sobresembró una parcela de 1.0 ha de pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) y trébol blanco (*Trifolium repens*) con Centeno (*Secale cereale*) cv. Nacional, a una tasa de siembra de 100 kg/ha.

Junto a la pradera sobresembrada, había 1.0 ha de pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) asociada con trébol blanco (*Trifolium repens*) como tratamiento control.

La fertilización al momento de la siembra en la pradera sobresembrada fue de 40 kg N en forma de urea, 80 kg P y 60 kg K/ha, (fosfato diamónico). Una segunda fertilización se realizó un mes después con 50 kg N/ha en forma de urea. Se fertilizaron ambas praderas a la misma dosis de urea como fertilización de mantenimiento.

El experimento con vacas lecheras comenzó 63 días después de la sobresembradura (11 de junio de 2021), cuando el Centeno tuvo al menos 25 cm de altura y finalizó el día 23 de julio de 2021, durante el verano. Las vacas realizaron pastoreo diurno de las praderas entre ordeños (8.0 h/día).

Variables de forraje

Cada parcela se subdividió nominalmente en dos subparcelas similares, como unidades de muestreo. La masa herbácea (MH) se estimó con seis jaulas de exclusión por tratamiento, cortando a nivel del suelo con tijeras, todo el forraje dentro de un cuadrante de metal de 0.4 m x 0.4 m al inicio de cada periodo experimental. La altura del forraje se registró con un medidor de plato ascendente para medir la altura comprimida y con un flexómetro siguiendo un patrón de "W", ya que al ser el Centeno un forraje de crecimiento erecto en la pradera dos tratamientos KYCEN, la medición podría verse afectada si solo se media con plato ascendente (Plata-Reyes *et al.*, 2021; Vega-García *et al.*, 2021).

Para los análisis químicos, al final de cada periodo experimental se recolectaron muestras de forraje de la pradera mediante la técnica de pastoreo simulado siguiendo la metodología de Wayne (1964). Los análisis químicos se realizaron utilizando los métodos oficiales de la AOAC (AOAC 1995). La determinación de materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC), (método 990.03) Fibra Detergente Neutro (FDN) (método 2002.04) Fibra Detergente Acido (FAD) (método 973.18) y Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) (Ankom, 2005). El contenido de energía metabolizable fue estimado de la fórmula del AFCR (1993) calculando el valor DOMD (materia orgánica digerible en materia seca) a partir de las fórmulas para obtener energía metabolizable de CSIRO (2007).

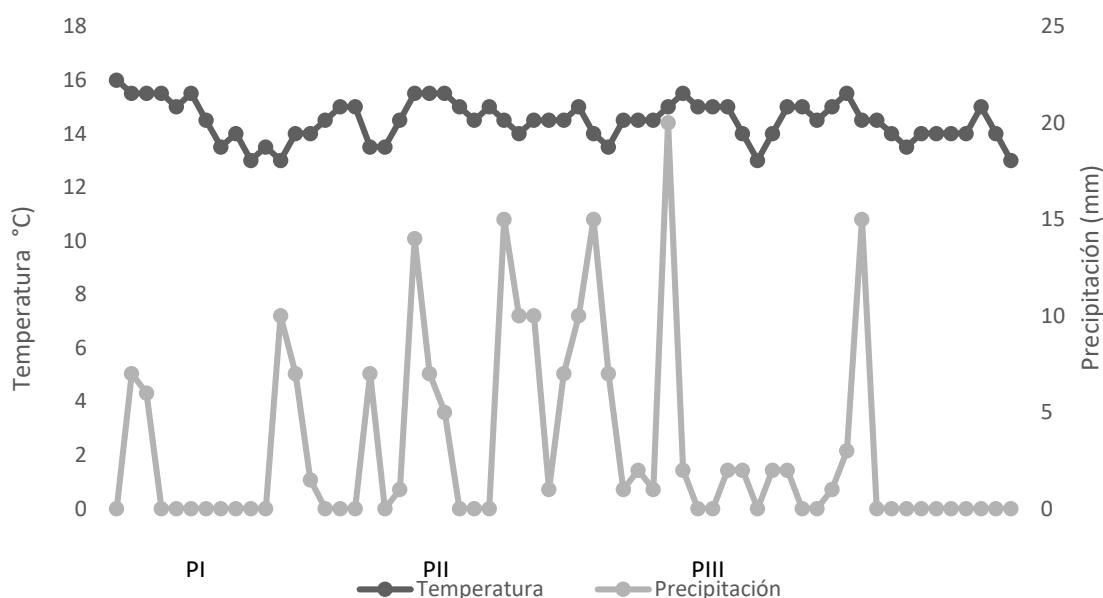


Figura 1. Precipitaciones y temperatura durante el experimento. Fuente: Comisión Nacional del Agua.

La composición botánica se determinó a partir de la recolección de forraje de seis muestras aleatorias por cultivo, cortando a nivel del suelo dentro de un cuadrante de metal de 0.4 m x 0.4 m y separando manualmente el forraje por especies pasto Kikuyo, Centeno, trébol blanco, otras gramíneas, arvenses, material vivo y muerto, posteriormente fueron secados en una estufa de aire forzado a 55 °C durante 72 horas; los resultados se expresaron en g/100 g de MS (Botha *et al.*, 2008b).

La cobertura vegetal se evaluó en seis sitios al azar a lo largo de las praderas, mediante la observación visual de las especies de plantas presentes dentro de un cuadrante de 0.5 m x 0.5 m dividido en subcuadrículas de 5 cm x 5 cm. Se observó, cuidadosamente en cada uno de los cuadros hasta completar las 25 subcuadrículas considerando la proporción del suelo descubierto, Kikuyo, Centeno, trébol blanco arvenses (especies invasoras no consumidas por el ganado) y otras gramíneas, (especies de gramíneas no identificadas que el ganado consumía) todas las observaciones fueron realizadas siempre por la misma persona, el resultado se expresó en porcentaje (%), siguiendo la metodología de (Fenetahun *et al.*, 2020).

Tratamientos

El diseño experimental fue un doble reversible con los siguientes tratamientos: pastoreo continuo intensivo de Kikuyo (KY) o Kikuyo + Centeno (KYCEN) durante 8 horas/día (08:00h a 16:00h), más 4.5 kg de MS/día de concentrado comercial, dividido en dos comidas, la mitad por la mañana y la otra mitad por la tarde.

Hubo dos secuencias de tratamiento para cada grupo de cuatro vacas: KY-KYCEN-KY y KYCEN-KY-KYCEN; en tres periodos experimentales de catorce días cada uno, con diez días de adaptación a la dieta y cuatro días de medición, recolección de muestras y registro de datos.

Se seleccionaron, ocho vacas multíparas, con tipo racial Holstein con las siguientes características al inicio del experimento 3.8±1.80 partos/vaca, producción diaria de leche (PL) de 16.7±2.7 kg/vaca/día, 153.7±49.2 días en leche, 454.6± 60.5 kg de peso vivo (PV) y 2.6±0.2 de condición corporal en una escala de 1 a 5 puntos.

Desempeño productivo animal

El rendimiento de leche se registró diariamente en cada ordeño durante los últimos cuatro días de cada

periodo experimental, utilizando una báscula de reloj con capacidad para 20 kg. Se recolectó una muestra de leche de la mañana y de la tarde y posteriormente se realizó una alícuota, la cual se refrigeró hasta que se realizó el análisis de contenido de grasa, proteína y lactosa con un analizador de leche por ultrasonido (Lactoscan). Los resultados para la producción de leche corregida por grasa se calcularon utilizando la ecuación de Dairy Records Management Systems (2014):

$$3.5\% \text{ FCM (kg/día)} = (0.4255 \times \text{producción de leche [kg/día]}) + (16.425 \times \text{rendimiento graso [kg/día]}).$$

Los análisis de nitrógeno ureico en leche se realizaron por el método colorimétrico enzimático (Chaney y Marbach, 1962). El peso vivo se registró durante los dos últimos días de medición con una báscula electrónica para disminuir la variación de cada periodo experimental (Hernández-Mendo y Leaver, 2006)), mientras que la condición corporal se estimó con escala de 1-5, el último día de cada periodo experimental.

El consumo de pradera se estimó por el método indirecto a partir de los requerimientos de energía necesarios por cada vaca, considerando el rendimiento de leche, peso vivo, energía de mantenimiento de lactación y de gestación, a la suma de esto se le resta la concentración de energía metabolizable aportada por el concentrado comercial, por último, este resultado se dividió entre la energía metabolizable obtenida de cada una de las praderas evaluadas (Hernández-Mendo y Leaver, 2006).

Se realizó un análisis económico con presupuestos parciales como en trabajos anteriores realizados en la región de estudio (Rosas-Dávila *et al.*, 2020) teniendo en cuenta únicamente los costos de alimentación representados por concentrados comerciales y costos de praderas (amortización de costos de establecimiento, riego y fertilización), y los ingresos por venta de leche.

Análisis estadístico

Para las variables de producción de forraje se utilizó un modelo general lineal siguiendo un diseño experimental de parcelas divididas al azar con subdivisiones de cultivos como unidades experimentales, los cultivos como parcelas mayores, periodos experimentales parcelas menores y muestreos como replicas dentro de las

subdivisiones de cultivos con el siguiente modelo estadístico (Kaps y Lamberson 2004):

$$Y_{ijkl} = \mu + sd_i + T_j + E_k + p_l + Tp_{jl} + Tr_{jm} + e_{ijk}$$

Donde: Y_{ijkl} = Variable respuesta μ = Media general sd_i = Efecto de la subdivisión en los cultivos ($i = 1 \dots 3$) T_j = Efecto de Tratamientos (Parcela Mayor) $j = 1, 2$ E_k = Término residual para las Parcelas Mayores p_l = Efecto de los periodos experimentales (Parcela menor) = $1 \dots 3$ Tp_{jl} = Efecto de la interacción entre los tratamientos y periodo experimental Tr_{jm} = Efecto de la interacción entre los tratamientos y las repeticiones al interior de cada subdivisión en los cultivos e_{ijk} = Término residual para las Parcelas Menores.

Las variables de producción animal se analizaron con un diseño doble reversible con ocho vacas durante tres periodos de evaluación, de acuerdo con la siguiente secuencia: KY-KYCEN-KY y KYCEN-KY-KYCEN, los datos fueron analizados mediante un modelo mixto, utilizando el paquete estadístico Minitab 19, donde los factores fijos fueron el tratamiento, el periodo, la secuencia y la interacción tratamiento*periodo, mientras que la vaca dentro de la secuencia se consideró como factor aleatorio. Se utilizó el siguiente modelo matemático: $Y_{ijkl} = \mu + S_i + C_{(i)j} + P_k + T_l + e_{ijkl}$ Donde: Y_{ijkl} =Variable respuesta μ =Media general S_i =Efecto debido a la secuencia ($i=1$ y 2) $C_{(i)j}$ =Efecto debido a la vaca dentro de la secuencia ($j=1 \dots 4$) P_k =Efecto de los periodos experimentales ($k=1 \dots 3$) T_l =Efecto de los tratamientos ($l=1$ y 2) e_{ijkl} =Error experimental.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables de forraje

Generalmente la altura de las praderas se mide con medidor de placa ascendente (altura de pasto comprimido) sobre todo en pastos cortos como se ha reportado anteriormente en SPLPE en México (Heredia-Nava *et al.*, 2007). Sin embargo, en este estudio se utilizó un forraje de crecimiento erecto por lo que la medición se realizó con un flexómetro para poder obtener la altura real (Vega-García *et al.*, 2021). Los resultados de la altura (cm) se muestran en la Tabla 1. No se observaron diferencias significativas, para la altura comprimida por tratamientos ($P>0.05$), ambas praderas obtuvieron 6.8 cm medidos con medidor de plato ascendente, ni para la altura medida con flexómetro, sin embargo, KYCEN presentó el

doble de altura que KY. Se observa una interacción significativa para los valores promedio de los resultados de altura medidos con flexómetro, donde la altura fue disminuyendo conforme avanzaba el tiempo, comenzando con 23.3 cm en el primer periodo y finalizando con 14.1 cm para el tercer periodo, esto probablemente es consecuencia del consumo de forraje por parte del ganado.

Al respecto, Vega-García *et al.* (2021) en un estudio sobre pastoreo de tres cereales de grano pequeño (triticale, trigo y Centeno) en sistemas de producción de leche en pequeña escala reportaron que el Centeno fue el cereal con mayor altura registrada con plato ascendente (36 cm) y con flexómetro se registró una altura de 81 cm, superiores a los registrados en este estudio donde se obtuvo una altura con medidor de plato ascendente de 6.8 cm y de 24.1 cm con flexómetro.

La masa herbácea es un indicador del forraje disponible y de las condiciones de pastoreo las cuales van a variar según la especie de planta, la estación, las condiciones climáticas y factores de manejo como la carga ganadera (Hodgson 1990; Mayne *et al.*, 2000). Debido a que la pradera de KYCEN requirió de manejo agronómico adicional (preparación del terreno, rastro, sobresiembra de semilla) fue necesario mayor tiempo para permitir el crecimiento de Kikuyo y de Centeno a diferencia de la pradera de Kikuyo que no requirió ningún manejo, pese a esto no se encontraron diferencias significativas ($P>0.05$) para los valores promedio de masa herbácea entre ninguno de los tratamientos.

El objetivo de este estudio fue aumentar la producción de forraje durante la primavera-verano tal como se realizó en otro estudio en china con cereales de grano pequeño en donde para aumentar significativamente la producción de forraje tanto en la primera cosecha (crecimiento primario) como en las cosechas posteriores, (Yang *et al.*, 2010), realizaron la sobresiembra de Centeno, Triticale y Ballico anual. Sin embargo, a partir de los resultados de masa herbácea reportados en el presente estudio no se cumplió con dicho objetivo ya que los rendimientos de forraje de la pradera de KYCEN fueron menores a los valores promedio de la pradera de KY.

La Tabla 2 muestra los resultados de composición química del forraje de las praderas, no se observan diferencias significativas para ninguna de las variables ($P>0.05$). Sin embargo, hubo interacciones significativas ($P<0.05$) para las variables de MS, MO, FDN y FDA.

Tabla 1. Resultados de altura medidos con pastometro y con flexómetro (cm) y de masa herbácea (kg MS/ha).

VARIABLE	PERIODO			MEDIA TX	EEMPM	EEMPM
	PI	PII	PIII			
Altura (PM) (cm)						
KY	7.1	7.7	5.7	6.8	0.02 ^{NS}	1.02*
KYCEN	7.2	7.6	5.6	6.8		
Media periodo	7.2	7.7	5.7			
Interacción PM*pm					0.02 ^{NS}	
Altura (M) (cm)						
KY	13.7	13	10.5	12.4	8.20 ^{NS}	4.07*
KYCEN	30.8	23.9	17.7	24.1		
Media periodo	22.3	18.5	14.1			
Interacción PM*pm					1.44*	
MH kg MS/ha						
KY	2470.8	2418.8	1304.2	2064.6	375.60 ^{NS}	528.36*
KYCEN	1803.1	1720.8	1076.01	1533.3		
Media periodo	2137.95	2069.8	1190.1			
Interacción PM*pm					75.9 ^{NS}	

PM= Pastómetro; M= Metro; KY= Kikuyo; KYCEN= Kikuyo+Centeno; MH= Masa herbácea; PI= Periodo 1; PII= Periodo 2; PIII= Periodo; EEMPM= Error estándar de la media parcela mayor; EEMPM= Error estándar de la media parcela menor; NS= P>0.05; *=P<0.05.

Al comenzar el experimento durante el primer periodo los valores promedio para la materia seca fueron de 198.60 g/kg, el tercer periodo registro un mayor contenido de materia seca, debido probablemente al incremento en las lluvias como se observa en la Figura 1. En un estudio realizado por Yang *et al.* (2010), el contenido de materia seca fue más alto en las praderas sobresembradas que en el tratamiento control de whipgrass (*Hemarthra compressa*) cv. Guang. En este estudio ocurrió lo contrario ya que fue la pradera de Kikuyo la que obtuvo un mayor contenido de materia seca con respecto a la pradera de Kikuyo con Centeno esto puede atribuirse a la diferencia de tiempo ya que el trabajo de Yang *et al.* (2010) duro dos años por lo que los forrajes ya estaban bien adaptados y ya habían ganado espacio en la pradera a diferencia del trabajo aquí reportado que duro un menor tiempo.

No hubo diferencias significativas para proteína cruda, los resultados aquí obtenidos son similares a los obtenidos por Plata-Reyes *et al.* (2021) en un estudio donde se evaluó Kikuyo en comparación con una variedad de Festuca alta (*Lolium arundinaceum*) libre de endófitos, en la misma zona de estudio durante la transición de otoño invierno, y por Vega-García *et al.* (2021) para Centeno (136 g/kg MS). Yang *et al.* (2010) mencionaron que la concentración de proteína generalmente disminuye a medida que avanza la temporada de crecimiento, en este estudio este

proceso no se vio reflejado, ya que se obtuvieron resultados similares durante los tres periodos experimentales.

Para las fracciones de FDN y FDA (Tabla 2), se detectaron interacciones significativas (P<0.05). El contenido de FDN fue menor durante el primer periodo aumento conforme avanza el experimento esto se debe a que el valor nutricional de las especies de pastos y leguminosas disminuye con el tiempo. El contenido de FDN y FDA fue menor para el tratamiento KY, el cual mostró mayor DIVMS y energía metabolizable estimada. Es importante destacar que el experimento se llevó a cabo durante la época más favorable para el desarrollo del pasto Kikuyo (Marín-Santana *et al.*, 2020) lo cual se demuestra en los resultados obtenidos al presentar una mejor calidad que el forraje del tratamiento de Kikuyo con Centeno. Al respecto, Plata-Reyes *et al.* (2018) también reportaron una buena calidad para Kikuyo en comparación con el forraje de praderas de clima templado *Festulolium* cv. Spring Green; *Lolium arundinaceum* cv. TF33; *Lolium perenne* cv. Pay Day, durante la época de lluvias.

La composición botánica (Tabla 3) y la cobertura vegetal (Tabla 4) muestran que Kikuyo sobresalió en ambas praderas, demostrando su potencial de adaptabilidad. En función de la composición botánica se encontraron diferencias significativas (P<0.05) para las especies de trébol blanco y otras

gramíneas (especies de gramíneas no identificadas consumibles por el ganado) que aportaron

rendimiento y calidad en ambas praderas, (Gómez-Miranda *et al.*, 2022).

Tabla 2. Composición química, digestibilidad *in vitro* de la materia seca y energía metabolizable estimada de los forrajes y del concentrado comercial.

VARIABLE	PERIODO			MEDIA TX	EEMPM	EEMPm
	PI	PII	PIII			
MS (g/kg MS)						
KY	184.60	182.40	252.30	206.40	23.34 ^{NS}	16.31 ^{NS}
KYCEN	212.60	159.80	147.80	173.40		
Media Periodo	198.60	171.10	200.05			
Interacción PM*pm					19.29*	
MO (g/kg MS)						
KY	897.10	902.90	901.30	900.43	2.50 ^{NS}	1.84 ^{NS}
KYCEN	897.00	893.70	900.00	896.90		
Media Periodo	897.05	898.30	900.65			
Interacción PM*pm					1.43*	
PC (g/kg MS)						
KY	152.90	133.10	143.60	143.20	6.33 ^{NS}	7.59 ^{NS}
KYCEN	138.90	128.40	135.40	134.23		
Media Periodo	145.90	130.75	139.50			
Interacción PM*pm					1.35 ^{NS}	
FDN (g/kg MS)						
KY	563.20	583.90	620.70	589.27	25.29 ^{NS}	22.35 ^{NS}
KYCEN	601.10	644.40	629.60	625.03		
Media Periodo	582.15	614.15	625.15			
Interacción PM*pm					7.46*	
FDA (g/kg MS)						
KY	264.90	269.10	263.90	265.97	5.62 ^{NS}	6.56 ^{NS}
KYCEN	277.50	282.70	261.90	273.92		
Media Periodo	271.20	275.90	262.90			
Interacción PM*pm					2.49*	
DIVMS (g/kg MS)						
KY	656.80	584.10	610.20	617.03	16.32 ^{NS}	23.51 ^{NS}
KYCEN		590.10	573.60	593.96		
Media Periodo		623.45	578.85			
Interacción PM*pm					11.23 ^{NS}	
EM (MJ/kg MS)						
KY		9.99	9.10	9.02	9.37	0.11*
KYCEN		8.88	9.37	9.48		
Media Periodo		8.78^a	8.18^b	8.66^a		
Interacción PM*pm					0.24 ^{NS}	
Concentrado Comercial						
MS (g/kg MS)			916.80			
MO (g/kg MS)			922.70			
PC (g/kg MS)			153.60			
FDN (g/kg MS)			294.80			
FDA (g/kg MS)			137.60			
DIVMS (g/kg MS)			864.61			
EM (MJ kg/MS)			12.62			

KY= Kikuyo; KYCEN= Kikuyo + Centeno; MS= Materia seca; MO= Materia orgánica; PC= Proteína cruda; FDN; Fibra Neutro Detergente; FDA= Fibra Ácido Detergente; DIVMS=Digestibilidad *in vitro* de la materia seca; EM= Energía metabolizable; EEMPM= Error estándar de la media parcela mayor; EEMPm= Error estándar de la media parcela menor. NS= P>0.05; *=P<0.05.

Tabla 3. Composición botánica de los forrajes (g/kg MS).

VARIABLE	TRATAMIENTO				
	KY	KYCEN	MEDIA	EEMTX	
Kikuyo	197.6	175.5	186.55	15.67 ^{NS}	
Centeno	0	197.9	98.95	139.9	
Trébol blanco	152.9	64.9	108.9	62.22*	
Otras gramíneas	184.4	97.3	140.85	61.59*	
Arvenses	178.9	162.9	170.9	11.35 ^{NS}	
Material vivo	535.1	477.3	506.2	40.89 ^{NS}	
Material muerto	285.9	301.3	293.6	10.88 ^{NS}	

VARIABLE	PERIODOS EXPERIMENTALES				
	PI	PII	PIII	MEDIA	EEMPE _x
Kikuyo	195	187.2	177.6	186.6	8.72 ^{NS}
Centeno	77.5	122.2	97.2	98.9	22.38 ^{NS}
Trébol blanco	103.7	120.8	102.4	108.9	10.24 ^{NS}
Otras gramíneas	129.8	160.1	132.8	140.9	16.69 ^{NS}
Arvenses	197.3	150.9	164.5	170.9	23.86 ^{NS}
Material vivo	506	590.3	422.3	506.2	84.04 ^{NS}
Material muerto	296.5	258.7	325.6	293.6	33.55 ^{NS}

KY= Kikuyo; KYCEN= Kikuyo + Centeno; EEMTx= Error estándar de la media para variables de desempeño animal; EEMPM= Error estándar de la media parcela mayor; EEMPm= Error estándar de la media parcela menor; NS= P>0.05; *=P<0.05.

Tabla 4. Cobertura vegetal (%) por tratamiento y por periodo experimental.

PERIODO	OTRAS											
	KIKUYO (%)		CENTENO (%)		TRÉBOL BLANCO (%)		GRAMÍNEAS (%)		ARVENSES (%)		DESCUBIERTO (%)	
	KY	KYCEN	KY	KYCEN	KY	KYCEN	KY	KYCEN	KY	KYCEN	KY	KYCEN
P1	56.27	56.97	0	6.73	16.63	0.80	24.47	1.06	2.63	11.63	0	22.80
P2	72.00	70.27	0	4.87	12.06	1.80	13.07	1.13	1.06	4.40	1.80	17.53
P3	77.77	72.53	0	7.73	11.70	2.00	8.57	2.26	1.03	3.53	0.93	11.93

KY= Kikuyo; KYCEN= Kikuyo + Centeno; P1= Periodo 1; P2= Periodo 2; P3= Periodo 3.

Sin embargo, la pradera de Kikuyo fue la que obtuvo un mayor contenido de ambas especies demostrando la buena interacción de Kikuyo con trébol blanco y otras gramíneas a pesar de que Kikuyo se considera una especie invasora. La composición botánica es un indicador que se utiliza para explicar las diferencias químicas entre los tratamientos (Botha *et al.*, 2008b; Yang *et al.*, 2010). No obstante, en el presente estudio no se encontraron diferencias significativas para las variables de composición química, lo anterior se atribuye a que en general ambas praderas registraron alta proporción de material vivo, mostrando la buena calidad de forraje para ambos tratamientos. Por su parte en función de la cobertura vegetal destaca el porcentaje de suelo descubierto para la pradera de KYCEN con 16.51% mayor que la pradera de KY, como se observó en las especies de composición botánica donde KYCEN obtuvo una menor proporción de forraje lo anterior se puede atribuir al rastreo previo y a la

sobresiembra consecuencia del daño mecánico ejercido sobre el material vegetal.

La Tabla 5, muestra los resultados de las variables de desempeño animal. No se observaron diferencias (P>0.05) en el rendimiento de leche corregida al 3.5%, aunque si hubo diferencias (P<0.05) entre periodos experimentales, con una disminución marcada hacia el periodo experimental tres. La variedad de Kikuyo ha demostrado tener buenos rendimientos de leche en sistemas de producción de leche en pequeña escala, Marín-Santana *et al.* (2020), obtuvo rendimientos de leche de 19.5 kg en praderas de pasto Kikuyo, resultado similar a las otras praderas de evaluación (Festuca alta) demostrando ser una alternativa viable. En este estudio la sobresiembra con Centeno influyó en la producción de leche. Además, la sobresiembra de Kikuyo en otras partes del mundo específicamente en sistemas de pastoreo a base de Kikuyo sobreseñado con ballico perenne

Tabla 5. Rendimiento y composición de la leche, nitrógeno ureico, peso vivo y condición corporal, consumo estimado de forraje y consumo estimado total por tratamiento y periodos experimentales (14 días) de vacas en pastoreo en praderas de Kikuyo y Kikuyo con Centeno.

VARIABLE	TRATAMIENTOS			VALOR DE P	PERIODOS EXPERIMENTALES				VALOR DE P
	KY	KYCE N	EE M		PI	PII	PIII	EE M	
RL FCM (3.5%) (kg/vaca/día)	16.6	17.4	0.51	0.457	18.1 ^a	17.66 ^a	15.2 ^b	0.51	0.04*
Grasa (g/kg)	36.4	36.8	0.32	0.327	36.1	36.78	36.9	0.32	0.313
Proteína (g/kg)	29.1	29	0.08	0.498	28.8	29.24	29	0.08	0.200
Lactosa (g/Kg)	43.5	43.4	0.13	0.659	43.2	43.73	43.5	0.13	0.210
NUL (mg/dL)	15.8	14.4	0.28	0.002*	14.1 ^b	15.24 ^a	15.9 ^a	0.28	0.001*
PV (kg)	485	449	9.4	0.212	444 ^b	462.6 ^b	495 ^a	9.4	0.005*
CC (1-5)	2.7	2.8	0.08	0.195	2.75	2.84	2.81	0.08	0.382
CEF (kg MS/vaca/día)	8.04	8.19	0.25	0.418	8.46	8.40	7.50	0.25	0.326
CEMST (kg MS/vaca/día)	12.64	12.79	0.25	0.527	13.06	13.00	12.09	0.25	0.356

FCM=Leche corregida en grasa 3.5%; RL= Rendimiento de leche; NUL= Nitrógeno ureico en leche; PV= Peso vivo; CC= Condición corporal; CEF= Consumo estimado de forraje; CEMST= Consumo estimado de materia seca total; MS= Materia seca; KY= Kikuyo; KYCEN= Kikuyo + Centeno. EEM= Error estándar de la media.

*=P<0.05.

en Sudáfrica reportan rendimientos de leche promedio entre 15.9 y 16.1 kg/vaca/día durante el año uno, y durante el año dos del experimento fue de 16.7 y 17.7 kg/vaca/día (Van der Colf *et al.*, 2015b). Por su parte Botha *et al.* (2008a), también en un estudio en Sudáfrica, reportaron rendimientos de entre 14 y 17.2 kg/vaca/día en vacas Jersey en pastoreo de praderas ballico-Kikuyo.

No hubo diferencias significativas para los componentes mayoritarios de la leche grasa proteína y lactosa ($P>0.05$) mismos que se mantuvieron similares en ambos tratamientos y en periodos sin mostrar ascenso o descenso. Estos valores están dentro de los parámetros establecidos por las Normas Mexicanas para la leche cruda. Vega-García *et al.* (2021) encontraron resultados similares a los reportados en este trabajo en cuanto a grasa, proteína y lactosa, en un trabajo realizado en la misma zona de estudio y en la misma época de evaluación lo anterior, refleja que si bien las estrategias de alimentación evaluadas no fueron capaces de incrementar la producción de forraje, las variables de producción animal no se afectaron.

Para el caso de NUL se detectaron diferencias significativas ($P<0.05$) por tratamientos y por periodos experimentales siendo el tratamiento KY durante el periodo tres el mayor contenido de nitrógeno ureico en leche. Los valores promedio registrados para este indicador son de 11 a 18 mg/dL (Powell *et al.*, 2011), consiguiendo un

contenido de proteína láctea superior al 3.2%. Esto indica que los animales recibieron una dieta con un contenido equilibrado de aminoácidos y carbohidratos. En este estudio se obtuvieron resultados de 15.8 y 14.4 mg/dL para KY y KYCEN, respectivamente. Este resultado es similar al que reportaron Van der Colf *et al.* (2015a) en praderas de Ballico perenne y Kikuyo, obteniendo 14.1 mg/dL, pero son superiores a los que obtuvo en praderas de Ballico anual con Kikuyo en el que obtuvo 13.1 mg/dL. En función de lo anterior, Aguilar *et al.* (2012) mencionan que hay diversos factores además de la ingesta de proteínas que provocan variaciones en el contenido de NUL, como lo es la época en la que se obtiene la muestra de leche, el peso y la raza de las vacas. Bougouinet *et al.* (2022) mencionaron que la utilización y excreción de N no están impulsadas exclusivamente por la concentración de proteínas en la dieta, sino que también dependen de la composición de carbohidratos de la dieta y el suministro de energía. Plata-Reyes *et al.* (2021) reportan el aumento de NUL a medida que avanzaba el experimento, misma situación que ocurrió en el presente estudio, probablemente consecuencia de la energía disponible con relación a la proteína en la dieta.

No se encontraron diferencias ($P>0.05$) para las variables de PV, CC, y CEF entre tratamientos, pero si se obtuvieron diferencias ($P<0.05$) para PV por periodos experimentales con un peso promedio de 467.16 kg durante los periodos experimentales. Para

Tabla 6. Análisis de costos.

VARIABLE	TRATAMIENTO	
	KY	KYCEN
Costos de alimentación		
Concentrado (\$)	6444.48	6444.48
Pradera (\$)	181.44	297.36
Costo total de alimentación (\$)	6625.92	6741.84
Producción de leche (42 d) (kg)	2750.44	2783.06
Precio de la leche (\$/kg de leche)	7.00	7.00
Costo de alimentación por vaca (\$/vaca)	1656.48	1685.46
Costo de alimentación diario por vaca (\$/vaca/d)	39.44	40.13
Costo de alimentación por kg (\$/kg leche)	2.41	2.42
Ingresos		
Venta de leche (\$)	19253.08	19481.42
Márgenes sobre costos de alimentación		
Márgenes totales (\$)	12627.16	12739.58
Margen por vaca (\$/vaca)	3156.79	3184.90
Margen por día (\$/d)	300.65	303.32
Margen por kg de leche (\$/kg de leche)	4.59	4.58
Relación ingresos sobre costos de alimentación (\$)	2.91	2.89

KY= Kikuyo; KYCEN= Kikuyo + Centeno.

los resultados de consumo estimado de forraje, no se presentaron diferencias significativas ($P>0.05$) con un promedio de 8.1 kg MS para ambas praderas, aunque KYCEN tuvo un 2% mayor consumo no detectado como significativo con respecto a KY lo que muestra una cierta ventaja para Centeno ya que de esta forma se puede proponer aumentar la carga animal.

En este sentido, es semejante al estudio realizado por Van der Colf *et al.* (2015b) donde se llegó a la conclusión de que el Kikuyo sobresembrado con otras especies en ese caso con Ballico perenne, soportaba un mayor número de animales y tenía un forraje mejor distribuido, por lo que había una mayor capacidad de pastoreo durante la primavera.

En la Tabla 6, se muestran los resultados correspondientes al análisis de presupuestos parciales para los costos de alimentación y los rendimientos de la venta de leche expresados en pesos mexicanos (\$). La semilla de Centeno tiene un costo elevado, mayor que la de otros cereales como lo son el triticale y trigo (Vega-García *et al.*, 2021). Sin embargo, el mayor costo de la sobresiembra con Centeno se compensó con un buen rendimiento de leche, por lo que los costos de pradera fueron similares para KY y KYCEN, con márgenes de ganancia similares para la pradera de KYCEN en comparación con la pradera KY.

CONCLUSIONES

Implementar la estrategia de sobresiembra de Centeno sobre praderas de pasto Kikuyo, no tuvo efecto sobre el rendimiento productivo de vacas lecheras, ni en la composición química de la leche. El análisis económico mostró costos e ingresos similares para ambos tratamientos, por lo que al no requerir ni costos de preparación de terreno, semilla y sobre siembra y con resultados productivos y económicos similares, el tratamiento KY es la opción más recomendable en esta época del año.

Agradecimientos

Los autores agradecen al productor participante en la investigación por brindar información y muestras de su unidad de producción; quien en todo momento tuvo conocimiento de los objetivos de la investigación, cuya privacidad y la de su familia se respeta al no revelar su nombre. Se agradece a la Universidad Autónoma del Estado de México por financiar el proyecto UAEM 4973/2020/CIB, igualmente se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por brindar una beca de Estudios de Posgrado para María Nayeli Marín Santana.

Funding. This work was funded by Universidad Autónoma del Estado de México project UAEM 4973/2020/CIB, and Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) – María Nayeli Marín Santana Postgraduate scholarship.

Conflict of interest. Nothing to declare

Compliance with ethical standards. The work was carried out in accordance with procedures accepted by the Universidad Autónoma del Estado de México, and approved by the bioethics committee with number DICARM-1621.

Data availability. Data is available within the paper. Additional information can be obtained from the corresponding author.

Author contribution statement (CRediT). **M. N. Marín-Santana**, writing original, draft and methodology, writing-review and editing. **F. López-González**, writing-review and editing, methodology, validation and data curation. **E. Morales-Almaráz**, writing-review, draft and methodology. **D. A. Plata-Reyes**, writing-review, editing, draft and methodology. **C.M. Arriaga-Jordán**, conceptualization, writing-review and editing, funding acquisition, supervision and validation.

REFERENCIAS

- 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, pp. 159.
- Aguilar, M., Hanigan, M.D., Tucker, H.A., Jones, B.L., Garbade, S.K., McGuilliard, M.L., Stallings, C.C., Knowlton, K.F. and James R.E., 2012. Cow and herd variation in milk urea nitrogen concentrations in lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 95, pp. 7261-7268. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5582>
- Ankom., 2005. Procedures (for NDF, ADF, and *in vitro* Digestibility). Ankom Technology Method. <http://www.ankom.com>. Accessed 15 Jun 2010.
- AOAC, 1995. Official Methods of Analysis. 15th ed., Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.
- Botha, P.R., Meeske, R. and Snyman, H.A., 2008a., Kikuyu over-sown with ryegrass and clover: grazing capacity, milk production and milk composition. *African Journal of Range and Forage Science*, 25, pp. 103-110.
- Botha, P.R., Meeske, R. and Snyman, H.A., 2008b., Kikuyu over-sown with ryegrass and clover: dry matter production, botanical composition, and nutritional value. *African Journal of Range and Forage Science*, 25, pp. 93-101. <http://doi.org/10.2989/AJRF.2008.25.3.1.598>
- Bougouin, A., Hristov, A., Dijkstra, J., Aguerre, M.J., Ahvenjärvi S., Arndt, C., Bannink, A., Bayat, A. R., Benchaar, C., Boland, T., Brown, W.E., Crompton, L. A., Dehareng, F., Dufrasne, I., Eugène, M., Froidmont, E., Van Gastelen S., Garnsworthy, P.C., Halmemies-Beauchet-Filleau, A., Herremans, S., Huhtanen, P., Johansen, M., Kidane, A., Kreuzer, M., Kuhla, B., Lessire, F., Lund, P., Minnée, E.M.K., Muñoz, C., Niu, M., Nozière, P., Pacheco, D., Prestløkken, E., Reynolds, C. K., Schwarm, A. Spek, J.W., Terranova, M., Vanhatalo, A., Wattiaux, M.A., Weisbjerg, M.R. Yáñez-Ruiz, D.R., Yu, Z., Kebreab, E., 2022. Prediction of nitrogen excretion from data on dairy cows fed a wide range of diets compiled in an intercontinental database: A meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 105. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20885>
- Chaney, A.L., Marbach, E.P., 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia, *Clinical Chemistry*, 8, pp. 130-132. <https://doi.org/10.1093/clinchem/8.2.130>
- Conroy, C., 2005. Participatory Livestock Research. Bourton-on-Dunsmore, Warwickshire, U.K.: ITDG Publishing.
- CSIRO., 2007. Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants. Canberra, Australia: CSIRO Publishing. pp 33.
- Dairy Records Management Systems. 2014. DHI Glossary. Retrieved from <http://www.drms.org/PDF/materials/glossary.pdf> Accessed 12 Jun 2022
- 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, pp. 241–256.
<https://doi.org/10.1017/S0014479706004613>
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations., 2019. Milk production. <http://www.fao.org/dairy-production-products/production/es>. Acceso 14 feb 2022.
- Fenetahun, Y., Yeneayehu, X.X. and Yuan, Y.W., 2020. Effects of Vegetation Cover, Grazing and Season on Herbage Species Composition and Biomass: In Case of Yabello Rangeland, Southern Ethiopia. *Journal of Resources and Ecology*, 11, pp. 159–170.
<https://doi.org/10.5814/j.issn.1674-764x.2020.02.004>
- García E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). (Universidad Nacional Autónoma de México). 4ta edición, pp 1–50. México.
- Gómez-Miranda, A., López-González, F., Vieyra-Alberto, R., Arriaga-Jordan, C.M., 2022. Grazed barley for dairy cows in small-scale systems in the highlands of Mexico. *Italian Journal of Animal Science*, 21, pp. 178–187.
<https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.2022540>
- Heredia-Nava, D., Espinoza-Ortega, A., González-Esquivel, C.E. and 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 México. *Tropical Animal Health and Production*, 39, pp. 179–188.
<https://doi.org/10.1007/s11250-007-9003-7>
- 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 soya bean meal diet fed indoors. *Grass and Forage Science*, 61, pp. 335–346.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2006.00540.x>
- Hodgson, J. 1994. Manejo de pastos. Teoría y práctica. Edit. Diana, Mexico City, pp. 55–180.
- Kaps, M., and Lamberson, W. R., 2004. Biostatistics for Animal Sciences, CABI Publishing, Wallingford. Gran Bretaña.
- Marais, J.P., 2001. Factors affecting the nutritive value of kikuyu (*Pennisetum clandestinum*): A review, *Tropical Grasslands*, 35, pp. 65–84.
https://www.tropicalgrasslands.info/public/journals/4/Historic/Tropical%20Grasslands%20Journal%20archive/PDFs/Vol%202001/Vol%2035%2002%2001_pp65_84.pdf
- Marin, A., Bindelle, J., Zubieta, A.S., Correa, G., Arango, J., Chirinda, N., de Faccio-Carvalho, P.C., 2021. *In vitro* fermentation profile and methane production of kikuyu grass harvested at different sward heights. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5.
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.682653>
- Marín-Santana, M.N., López-Gonzalez, F., Hernández-Mendo, O. and Arriaga-Jordán, C.M., 2020. Kikuyu pastures associated with tall fescue grazed in autumn in small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 52, pp. 1919–1926.
<https://doi.org/10.1007/s11250-020-02216-7>
- Mayne, C.S., Wright, I., Fisher, G.E.J., 2000. Grassland management under grazing and animal response. In: Hopkins A (ed.), Grass: its production and utilization. Oxford: Blackwell Science. pp. 247–291.
- 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., and Arriaga-Jordán, C. M., 2018. Milk production and fatty acid profile of dairy cows grazing four grass species pastures during the rainy season in small-scale dairy Systems in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 50, pp. 1797–1805.

- <https://doi.org/10.1007/s11250-018-1621-8>
- Plata-Reyes, D.A., Hernández-Mendo, O., Vieyra-Alberto, R., Albarrán-Portillo, B., Martínez-García, C.G. and Arriaga-Jordán, C.M., 2021. Kikuyu grass in winter–spring time in small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico in terms of cow performance and fatty acid profile of milk, *Tropical Animal Health and Production*, 53, pp. 225. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02672-9>
- Prospero-Bernal, F., Martínez-García, C.G., Olea-Pérez, R. López-González, F. and Arriaga-Jordán, C.M., 2017. Intensive grazing and maize silage to enhance the sustainability of small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 49, pp.1537–44. <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1360-2>
- Powell, J.M., Wattiaux, M.A., and Broderick, G.A., 2011. Short communication: Evaluation of milk urea nitrogen as a management tool to reduce ammonia emissions from dairy far DM, *Journal of Dairy Science*, 94, pp. 4690-4695. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4476>.
- Rosas-Dávila, M., Estrada-Flores J.G., López-González F., and Arriaga-Jordán C.M., 2020. Endophyte-free tall fescue pastures for small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico, *Indian Journal of Animal Sciences*, 90, pp. 778–783. <https://doi.org/10.56093/ijans.v90i5.104631>
- Ruiz-Torres, M.E., García-Martínez, A., Arriaga-Jordán, C.M., Dorward, P., Rayas-Amor, A.A. and Martínez-García, C.G., 2022. Role of small-scale dairy production systems in central Mexico in reducing rural poverty. *Experimental Agriculture*, 58, pp.1–13.
- <https://doi.org/10.1017/S0014479722000369>
- Van der Colf, J., Botha, P.R., Meeske, R. and Truter, W.F. 2015a. Grazing capacity, milk production and milk composition of kikuyu over-sown with annual or perennial ryegrass. *African Journal of Range and Forage Science*, 32, pp. 143-151. <http://dx.doi.org/10.2989/10220119.2015.1052096>
- Van der Colf, J., Botha, P.R., Meeske, R. and Truter, W.F., 2015b. Seasonal dry matter production, botanical composition and forage quality of kikuyu over-sown with annual or perennial ryegrass. *African Journal of Range and Forage Science*, 33, pp. 133-142. <https://doi.org/10.2989/10220119.2015.1018945>
- Vega-García, J.I., López González, F., Morales-Almaraz E., Arriaga-Jordán C.M., 2021. Grazed rain-fed small-grain cereals as a forage option for small-scale dairy systems in central Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 53, pp. 511 <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02958-y>
- Wayne, C., C., 1964. Symposium on nutrition of forages and pastures: Collecting samples representative of ingested material of grazing animals for nutritional studies, *Journal of Animal Science*, 23, pp. 265-270.
- Woli K.P., Pantoja J.L. and Sawyer J.E., 2016. Soil inorganic nitrogen with incubation of rye cover crop biomass. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47, pp. 2558-2572. <http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2016.125479>
- Yang, C.H., Li, X., Han, J., Chen, L. and He, F., 2010. Mixtures of whipgrass with cool-season annual forages to extend the forage production season in south-west China. *Tropical Grasslands*, 44, pp. 47-54.