



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*) SOBRE SEMBRADAS CON CENTENO**
(*Secale cereale*) EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE EN PEQUEÑA
ESCALA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTORA 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 2023.



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*) SOBRE SEMBRADAS CON CENTENO (*Secale cereale*) EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE EN PEQUEÑA ESCALA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTORA 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. ERNESTO MORALES ALMARAZ

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, octubre de 2023.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar pasto Kikuyo sobresembrado con un cereal de grano pequeño, centeno (*Secale cereale*), como una estrategia de alimentación en sistemas de producción de leche en pequeña escala. El trabajo de la tesis se dividió en dos experimentos.

El **primer experimento** tuvo como objetivo evaluar en época de lluvias, en el verano de 2021 el efecto del pastoreo continuo intensivo de dos praderas; ambas praderas invadidas por Kikuyo (**KY**) y asociadas con trébol blanco *Trifolium repens* cv. Ladino, en la segunda pradera se sobresembró con un cereal de grano pequeño, centeno (*Secale cereale*), la evaluación se realizó durante tres periodos experimentales de catorce días cada uno, mediante un diseño Doble Reversible. Para lo cual se seleccionaron ocho vacas Holstein que fueron divididas en dos grupos lo más homogéneos posible y asignadas al azar a una secuencia de tratamientos KY-KYCEN-KY y KYCEN-KY-KYCEN. El pastoreo fue continuo diurno (8 horas/día) con agua a libre acceso, en corral las vacas fueron suplementadas con 4.65 kg/vaca/día de concentrado comercial, distribuido en dos porciones la mitad en el ordeño de la mañana y la otra mitad en el ordeño de la tarde. 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. 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, 29.05 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 plato ascendente,

o con flexómetro. Tampoco se detectaron, diferencias significativas por tratamientos para los valores promedio de masa herbácea ($P>0.05$). En la composición química del forraje de las praderas no se encontraron diferencias significativas ($P>0.05$).

A partir de los resultados obtenidos se concluye que tratamiento KY durante la época del año que fue evaluada y debido a que necesita un manejo agronómico mínimo, contrario a lo que requiere el tratamiento de KYCEN más los costos extras de semilla, permite identificarlo como mejor opción por encima del tratamiento KYCEN.

El **segundo experimento** tuvo como objetivo, evaluar la digestibilidad *in vitro*, la producción de gas *in vitro* y la estimación de emisiones de metano de praderas de pasto Kikuyo y sobresembradas con centeno. La recolección de las muestras de Kikuyo y de Kikuyo con centeno, se realizó en junio y julio de 2021. Se evaluó la digestibilidad *in vitro*, de la materia seca (MS), de la materia orgánica (MO) y de la fibra detergente neutro (FDN), la producción de gas *in vitro* y la estimación de emisiones de metano. Las variables de digestibilidad *in vitro* y producción de gas se analizaron utilizando un diseño experimental de parcelas divididas y para las variables de estimación de emisiones de metano se utilizó un diseño doble reversible. No se presentaron diferencias significativas entre tratamientos para la digestibilidad *in vitro* de la MS, la MO y la FDN, tampoco sobre las emisiones de metano ($P>0.05$).

En función de estos resultados se concluye que las praderas de pasto Kikuyo y de Kikuyo con centeno son una opción viable para la alimentación en sistemas de producción animal en pequeña escala.

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

SUMMARY

The objective of this work was to evaluate Kikuyo grass over-seeded with a small grain cereal, rye (*Secale cereale*), as a feeding strategy in small-scale dairy production systems. The thesis work was divided into two experiments.

The first experiment aimed to evaluate in the rainy season, in the summer of 2021, the effect of intensive continuous grazing of two pastures; both pastures invaded by Kikuyo (KY) and associated with white clover *Trifolium repens* cv. Ladino, the second pasture was overgrazed with a small grain cereal, rye (*Secale cereale*), the evaluation was carried out during three experimental periods of fourteen days each, using a Double Reversible design. Eight Holstein cows were selected and divided into two groups as homogeneous as possible and randomly assigned to a sequence of treatments KY-KYCEN-KY and KYCEN-KY-KY-KY-KYCEN. Grazing was continuous daytime grazing (8 hours/day) with free access to water, in the pen the cows were supplemented with 4.65 kg/cow/day of commercial concentrate, distributed in two portions, half in the morning milking and the other half in the afternoon milking. A split-plot design was used for pasture evaluation. Milk yield and chemical composition, live weight and body condition were recorded. A partial budget analysis was performed comparing income and feed costs for each treatment. No statistically significant differences ($P>0.05$) were detected for the productive performance variables; recording average yields of 17 kg/cow/day of milk corrected to 3.5% fat, with values of 36.6 g/kg, 28.5 g/kg and 43.4 g/kg for fat, protein and lactose, respectively. There were no statistically significant differences among treatments ($P>0.05$) for pasture height measured with a pastometer or flexometer. There were also no

significant differences between treatments for the average values of herbaceous mass ($P>0.05$).

No significant differences were found in the chemical composition of pasture forage ($P>0.05$).

From the results obtained, it is concluded that KY treatment during the time of the year that was evaluated and because it requires minimal agronomic management, contrary to what KYCEN treatment requires plus the extra costs of seed, it can be identified as the best option over KYCEN treatment.

The objective of the second experiment was to evaluate the in vitro digestibility, in vitro gas production and methane emissions estimation of Kikuyo grass and rye oversown pastures. Samples of Kikuyo and Kikuyo with rye were collected in June and July 2021. In vitro digestibility, dry matter (DM), organic matter (OM) and neutral detergent fiber (NDF), in vitro gas production and methane emissions estimation were evaluated. The in vitro digestibility and gas production variables were analyzed using a split-plot experimental design and for the methane emissions estimation variables a double reversible design was used. There were no significant differences between treatments for in vitro digestibility of DM, OM and NDF, nor for methane emissions ($P>0.05$).

Based on these results, it is concluded that Kikuyo and Kikuyo pastures with rye are a viable option for feeding in small-scale animal production systems.

Key words: Kikuyo grass; rye; grazing; cost analysis; gas production; methane.

INDICE GENERAL

Contenido	página
LISTA DE CUADROS E IMÁGENES	xiii
I.INTRODUCCIÓN	14
II.REVISIÓN DE LITERATURA	17
2.1 Producción de leche a nivel mundial.....	17
2.2. Producción de leche en México.....	17
2.3. Sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE).....	18
2.3.1. Alimentación en los SPLPE	19
2.4. Kikuyo (<i>Cenchrus clandestinus</i> antes <i>Pennisetum clandestinum</i>).....	20
2.5. Trébol blanco.....	21
2.6. Cultivos sobresembrados.....	21
2.7. Cereales de grano pequeño.....	22
2.7.1 Centeno (<i>Secale cereale</i>).....	23
2.8. Ganadería y cambio climático	25
2.8.1. Metano entérico (CH ₄).....	25
2.8.2. Formación de metano.....	26
2.8.3. Medición de emisiones de metano.....	27
2.8.4. Estimación de emisiones de metano por ecuaciones	27
2.8.5. Estrategias de mitigación de metano.....	28
III.JUSTIFICACIÓN.....	30
IV.PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTO UNO.....	32
V.HIPÓTESIS GENERALES EXPERIMENTO UNO	33

VI.OBJETIVOS EXPERIMENTO UNO	34
VII.MATERIALES Y MÉTODO EXPERIMENTO UNO	35
7.1. Localización del área	35
7.2. Desarrollo experimental.....	36
7.3. Variables de diseño y animales experimentales	37
7.4. Asignación de las vacas a la secuencia de tratamientos y distribución de los tratamientos por periodo	37
7.5. Praderas y manejo del pastoreo	38
7.6. Tratamientos	40
7.7. Variables de Producción de forraje.....	41
7.7.1. Altura de las praderas.....	41
7.7.2. Masa herbácea.....	41
7.7.3. Cobertura vegetal del suelo.....	42
7.7.4. Composición botánica de las praderas	42
7.7.5 Composición bromatológica.....	42
7.8. Variables evaluadas de Producción Animal	44
7.8.1. Producción de leche	44
7.8.2. Recolección de muestras de leche para los diferentes análisis	44
7.8.3. Nitrógeno ureico en leche (NUL)	44
7.8.4. Peso Vivo	45
7.8.5. Condición corporal.....	45
7.9. Análisis económico.....	45
7.10. Diseño experimental y análisis estadístico	46
7.10.1. Variables de producción animal.....	46
7.10.2. Variables de producción de forraje	46

VIII.RESULTADOS EXPERIMENTO UNO	48
8.1. Artículo publicado	48
IX.PREGUNTAS DE INVESTIGACION EXPERIMENTO DOS.....	54
X.HIPOTESIS GENERALES EXPERIMENTO DOS	55
XI.OBEJETIVOS EXPERIMENTO DOS.....	56
XII.MATERIALES Y METODO EXPERIMENTO DOS.....	57
12.1 Localización del sitio de estudio.....	57
12.2 Desarrollo experimental y tratamientos.....	57
12.3 Variables evaluadas	58
12.3.1 Cinética de fermentación ruminal y digestibilidad <i>in vitro</i>	58
12.3.2 Emisiones de metano entérico.....	60
12.4 Diseño experimental y análisis estadístico	61
XIII.RESULTADOS EXPERIMENTO DOS.....	62
13.1. Segundo artículo enviado	62
XIV.CONCLUSIONES GENERALES	66
XV.REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	67
XVI.ANEXOS EXPERIMENTO UNO.....	86
16.1 Datos pre-experimentales de las vacas usadas en el experimento.....	86
16.2. Promedio de variables medidas de producción de forraje por tratamiento y por periodo.....	87
16.2.1. Disponibilidad de forraje	87
16. 2. 2. Composición bromatológica (g/kg de MS) y estimación de Energía Metabolizable (MJ kg/MS).....	88
16.2.3. Composición bromatológica (g/kg de MS) y estimación de Energía Metabolizable (MJ/kg/MS) del concentrado comercial.....	89

16.3. Promedio de las variables medidas de producción animal por tratamiento y por periodo	90
16.4. Promedio de las variables de las características fisicoquímicas grasa, proteína, lactosa (g/kg) y Nitrógeno Ureico en Leche (mg/dL) de la leche por tratamiento y por periodo.	91
16.5. Consumo de concentrado, pradera, total (kg de MS), necesidades totales de energía metabolizable (EM) y aporte de la dieta de EM (MJ EM/día).	92
XVII. ANEXOS EXPERIMENTO DOS	93
17.1 Promedio de las variables de las características de producción de metano (CH ₄) por tratamiento y por periodo.....	93
17.2. Promedios de las variables de digestibilidad <i>in vitro</i> (g/kg MS) y energía metabolizable (MJ EM kg ⁻¹ MS) por tratamiento y por periodo.	94
17.3. Promedio de las variables de los parámetros de producción de gas <i>in vitro</i> debido a la fermentación del forraje por tratamiento y por periodo.....	95
XVIII. TRABAJO ENVIADO A RNIP	96
XIX. ARTÍCULO EN COLABORACIÓN.....	98

LISTA DE CUADROS E IMÁGENES

Cuadro 1. Distribución de vacas y tratamientos por periodo. Experimento uno; Doble reversible.....	38
Cuadro 2. Variedades de forraje y fechas de cultivos.....	39
Imagen 1. Localización de la pradera 1 de pasto Kikuyo (circulo verde) con respecto a las instalaciones de resguardo de los animales (color morado).....	35
Imagen 2. Localización de la pradera 2 de pasto Kikuyo más la sobresiembra de centeno (circulo rosa) con respecto a las instalaciones de resguardo de los animales (circulo morado).....	36

I. INTRODUCCIÓN

La producción de leche en México juega un papel importante, sobre todo en el sector rural ya que ayuda a eliminar la pobreza y la desnutrición, generando alimentos nutritivos para sus habitantes. En México se lleva a cabo en tres sistemas de producción; la lechería a gran escala, la lechería tropical y la lechería en pequeña escala, este último caracterizado por contar con unidades de producción con pequeñas superficies de tierra, un máximo de 35 vacas y un mínimo de 3 más sus reemplazos. Generalmente utilizan la mano de obra familiar, donde la venta de leche proporciona ingresos fundamentales a las familias productoras, complementándolas en algunas ocasiones con otras actividades dentro o fuera de la unidad de producción. (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007). De esta forma puede ser una herramienta viable para impulsar el crecimiento económico y reducir la pobreza y la necesidad de migrar a las ciudades (Heredia- Nava *et al.*, 2007; Martínez-García *et al.*, 2015).

Dentro del enfoque sustentable el cual considera tres aspectos importantes; ecológico, económico y social. Es la escala económica la más trascendental, considerada una importante limitante en el desarrollo de estos sistemas, por los altos costos, sobre todo en la alimentación ya que esta abarca desde un 60 a un 90% del total de los costos de producción debido a una alta dependencia de insumos externos particularmente concentrados comerciales que resultan en altos costos de alimentación que dan como resultado una baja rentabilidad. (Fadul-Pacheco *et al.*, 2013; Gómez-Miranda *et al.*, 2021).

El uso de cultivos a base de pastos reduce los costos de alimentación, mejora la rentabilidad y por lo tanto la sostenibilidad de estos sistemas (Prospero-Bernal *et al.*, 2017) Además la alimentación basada en el pastoreo intensivo de praderas cultivadas es una estrategia que se caracteriza por una baja inversión y una alta producción de forraje de buena calidad, contribuyendo además a conservar y restaurar el medio ambiente (Rao *et al.*, 2015).

Sin embargo, los productores de leche en pequeña escala se enfrentan un problema grave, que es la limitada irrigación disponible para sus tierras sobre todo en la estación seca teniendo como consecuencia poco crecimiento de pasto. Los efectos del cambio climático como son temperaturas elevadas, lluvias erráticas y escasas, sumadas a los distintos factores agroecológicos y socioeconómicos de las unidades de producción agravan aún más esta problemática. Además, en los últimos años se ha visto que la ganadería tiene una contribución importante a la producción de gases de efecto invernadero que ocasionan el cambio climático global, siendo que aporta el 14.5% de estos gases (Gerber *et al.*, 2013). Dentro de estos gases se encuentra el metano, gas de efecto invernadero con 28 veces mayor potencial de calentamiento global que el dióxido de carbono y un tiempo de vida media de 10 años en la atmosfera (IPCC, 2013). El 35% de la producción de metano entérico proviene de sistemas pastoriles por lo que es importante encontrar estrategias de alimentación que reduzcan estas emisiones, optando por forrajes con mayor digestibilidad y que además tengan buena adaptabilidad a estos sistemas de producción (Vargas *et al.*, 2012; Marín *et al.*, 2021).

El pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus* antes *Pennisetum clandestinum*), es una gramínea de origen subtropical, originaria de África Oriental, naturalizada en las áreas templadas del

centro de México que se ha adaptado muy bien gracias a su crecimiento estolonífero y rizomatoso. Por otra parte, se ha visto el interés de evaluar cereales de grano pequeño debido a su ciclo de crecimiento corto, requerimientos menores de agua y su buena adaptabilidad a diferentes condiciones, como es el caso de centeno (*Secale cereale*), por lo que es interesante evaluar esta asociación para encontrar variedades mejor adaptadas tanto al ambiente como a las condiciones de manejo; en cuanto a la disponibilidad de riego.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el pastoreo de centeno sobresembrado en praderas de pasto Kikuyo y de Kikuyo solo, además de evaluar la digestibilidad *in vitro*, la producción de gas *in vitro* y la estimación de emisiones de metano, con la finalidad de poder evaluar forrajes que se adapten a la actual condición de cambio climático, mejorar el rendimiento y la calidad de las praderas y que además se puedan disminuir los altos costos de alimentación para que así de esta manera se puedan encontrar soluciones que no afecten las producciones de leche.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Producción de leche a nivel mundial

Se prevé que la producción mundial de leche crecerá 1.6% más al año para llegar a 997 millones de toneladas para el año 2029, lo que lo hace el producto básico agrícola que mayor crecimiento tendrá en los próximos años a nivel mundial (OCDE-FAO, 2023).

Cerca de 150 millones de hogares en todo el mundo se dedican a la producción de leche, en su mayoría es producida por pequeños agricultores contribuyendo a la seguridad alimentaria y la nutrición de los hogares además de que representa una fuente importante de ingresos en efectivo (FAO, 2023).

2.2. Producción de leche en México

La producción de leche en México se lleva a cabo en tres sistemas, la 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 está en 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 es el estado más poblado de México, 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, representando el 78% de las unidades

especializadas en producción de leche, aportando el 37% de la producción de leche a nivel nacional (Prospero- Bernal *et al.*, 2017).

En México, las cuatro principales entidades productoras de leche son Jalisco con una producción nacional del 20.3%, seguido de Coahuila, Durango y Chihuahua con 11.3%, 10.2% y 9.4%, respectivamente; el Estado de México ocupó el octavo lugar aportando el 4.0% del total de leche producida con 444, 714 miles de litros (Lactodata, 2017; SIAP, 2020).

2.3. Sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE)

Los sistemas de producción de leche en pequeña escala son una opción de desarrollo para aliviar la pobreza y mejorar la producción de alimentos en los países en desarrollo. (Becerril-Gil *et al.*, 2018). 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 las superficies de tierra con las que cuentan generalmente son pequeñas (Martínez-García *et al.*, 2015).

Las razas que manejan son Holstein, Pardo Suizo, Criollo y sus cruza. (Espinoza-Ortega *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 de desarrollo rural (Carrillo-Hernández *et al.*, 2021).

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 (Plata Reyes *et al.*, 2018).

2.3.1. 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. Dependen en gran medida del uso de insumos externos lo que ocasiona baja eficiencia económica (Prospero-Bernal *et al.*, 2017).

Una opción viable para reducir los costos de alimentación es una mayor dependencia de forrajes de alta calidad que asegura bajos costos de producción, pudiendo así incrementar la productividad de las explotaciones pecuarias (Plata-Reyes *et al.*, 2018).

En la alimentación de los hatos una de las ventajas del pastoreo es la baja inversión en las instalaciones, material y equipo y los bajos costos con los que se puede operar. Con el pastoreo disminuyen los gastos en la alimentación al evitar el corte, acarreo, y provisión del forraje en las instalaciones, ya 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. Además, los henos o los ensilados, aumentan los costos de producción y reducen la rentabilidad de la granja (Zhang *et al.*, 2015).

Por lo tanto, la incorporación de pastoreo de praderas irrigadas en lugar del manejo convencional de corte y acarreo en la época seca reduce los costos de producción, eleva la rentabilidad y mejora la sostenibilidad de estos sistemas (Carrillo-Hernández *et al.*, 2021).

2.4. Kikuyo (*Cenchrus clandestinus* antes *Pennisetum clandestinum*)

El pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus* antes *Pennisetum clandestinum*) es una gramínea perenne subtropical altamente productiva, de color verde amarillenta, estolonífero y rizomatoso, de origen africano, utilizado principalmente para césped y control de la erosión. Se ha adaptado bien a sistemas de producción de leche basados en forrajes en algunos países de América Latina y Centroamérica, como es el caso de Colombia, Brasil y México, y Oceanía, en países como Australia y Nueva Zelanda (Muscolo *et al.*, 2013; Marín *et al.*, 2021).

Cuando se utiliza correctamente tiene una calidad de moderada a buena siendo incluso similar a pastos templados como los son ryegrass y festuca con digestibilidades promedio de 700 g/kg MS y con energía metabolizable de 10 MJ/kg MS (Plata-Reyes *et al.*, 2018; Plata-Reyes *et al.*, 2021; Marín-Santana *et al.*, 2020), por lo que es considerado una alternativa viable para estos sistemas de producción, localizados en zonas templadas y subtropicales.

Bajo pastoreo o corte genera una cubierta densa debido a su crecimiento vigoroso y a que se extiende muy fácilmente, debido a su crecimiento estolonífero, y es moderadamente resistente a la sequía. Su temporada de crecimiento es en primavera, verano y otoño, creciendo en regiones con altitudes de hasta 3500 msnm (Marais, 2001).

Por otra parte, se ha visto mediante estudios *in vitro* que el pasto Kikuyo a alturas menores a 30 cm muestran una tendencia hacia una menor emisión de CH₄, por lo que puede ser una estrategia prometedora para reducir las emisiones de CH₄ (Marín *et al.*, 2021).

2.5. Trébol blanco

El trébol blanco (*Trifolium repens*) es una leguminosa dominante en la mayoría de las praderas, utilizada para forraje, mejoramiento del suelo y ensilaje. Presenta buena palatabilidad y alto contenido proteico, resistente al pisoteo, debido a que las defoliaciones solo afectan a las hojas y a los pedúnculos florales, sin dañar los puntos de crecimiento. Se considera una fuente importante de nutrientes para el ganado y es ampliamente utilizado en sistemas de producción alrededor del mundo (Tekeli y Ates, 2006).

La asociación de gramíneas y leguminosas son la mejor forma de garantizar la producción de forraje durante todo el año, logrando un establecimiento más rápido, obteniendo un forraje de mejor calidad, sumado a estos beneficios se conoce que las leguminosas fijan el nitrógeno atmosférico, reduciendo de esta forma el uso de fertilizantes químicos nitrogenados (Mendoza-Pedroza *et al.*, 2018).

2.6. Cultivos sobresembrados

En estudios realizados sobre cultivos sobresembrados con distintos forrajes se ha visto que presenta un mayor rendimiento, que los cultivos que son únicos, por lo que lo convierte en una opción viable para la producción de forrajes. Representa una ventaja en áreas limitadas a una sola temporada de cultivo al año, debido a limitaciones de temperatura y agua, muy

común en los sistemas de producción de leche en pequeña escala, donde la falta de agua afecta el crecimiento de las praderas.

Se presentan diferencias significativas para MS, PC, y FDN en los cultivos sobre sembrados donde hay un mayor rendimiento de materia seca y proteína cruda que cultivos sin sobre siembra. En sistemas que involucran trébol, cebada y ryegrass, son mejores que los cultivos únicos. Estudios sobre cultivos asociados mejoran el rendimiento de la producción de forrajes y la eficiencia de utilización de la tierra cultivable (Zhang *et al.*, 2015).

2.7. Cereales de grano pequeño

Los cereales de grano pequeño pueden ser una alternativa viable para sistemas de producción de leche en pequeña escala, se incluyen el trigo, triticale, centeno, cebada y avena. Tienen la ventaja de tener un ciclo corto de crecimiento lo que permite su cultivo con menor requerimiento de agua con buena producción de materia seca, por lo que son eficaces en temporadas de lluvias disminuidas o erráticas, con riego limitado, resistentes a heladas por lo que se pueden sembrar en otoño-invierno además de su buena calidad nutritiva (Gómez-Miranda *et al.*, 2020; Burbano-Muñoz *et al.*, 2018).

Los cereales de invierno tienen un alto contenido proteico principalmente en la etapa vegetativa y poca fibra. En etapa previa a la floración contienen proteína cruda más alta que en otras etapas, pero tienen poca energía y al avanzar en su crecimiento sufren alteraciones que reducen la calidad nutricional de la fibra, pero gana energía por la disposición de almidón en los granos. En Europa los cereales de invierno han sido cultivos forrajeros estratégicos durante el periodo de escasez de alimentos (Horst *et al.*, 2018).

Una de las ventajas de la siembra de cereales es su sistema de raíces fibrosas, que aumentan los niveles de materia orgánica del suelo y protegen el suelo de la erosión durante el otoño y el invierno (Acharya *et al.*, 2002).

Los cereales de invierno sembrados en primavera, cultivados como monocultivos o en mezcla con cereales de primavera, mantienen el rendimiento y la calidad hasta finales del verano y el otoño y pueden usarse para reemplazar o complementar los pastos perennes (Juskiw *et al.*, 1999).

2.7.1 Centeno (*Secale cereale*)

El centeno es un cereal de grano pequeño, es un cultivo versátil, estrechamente relacionado con el trigo y con la cebada, pero más resistente, cultivado originariamente en el norte de Europa. Se cultiva principalmente para grano, forraje o como cultivo de cobertura para el control de la erosión. Es el más productivo de los cultivos de los cereales en condiciones de baja temperatura, baja fertilidad y sequía (GRDC, 2018).

El centeno tiene un tallo delgado y erecto rematado con una espiga curva de 7 a 15 cm de largo, las hojas crecen a partir de los nudos del tallo y son hojas en forma de lanza, de color azul verdoso, sus espigas son delgadas y largas y cada una de ellas llega a producir hasta tres flores que producen uno o dos granos. Puede alcanzar de uno a tres metros de altura y se cultiva como anual (centeno de primavera) o bienal (centeno de invierno). Posee una gran rusticidad, resistencia al frío y a las heladas (GRDC, 2018).

Se recomienda la siembra de este cereal antes de que lleguen las primeras lluvias con una densidad de semilla de 100 a 120 kg/ha. Su calidad no se ve afectada por el pastoreo o por diferentes tasas de siembra o de fertilización.

Entre todos los cereales se considera como el cereal de mayor adaptación a condiciones desfavorables del suelo y de frío, pudiendo cultivarse en diversos ambientes como en zonas áridas de México (Murillo-Amador *et al.*, 2001).

En un estudio donde se evaluó el valor nutricional *in vitro* de forrajes de cereales de grano pequeño (Celis-Álvarez *et al.*, 2017), el centeno tuvo un comportamiento similar a la avena común, avena negra y triticale, en cuanto a rendimiento de forraje, fibra detergente ácido y digestibilidad; sin embargo, contiene menor proteína cruda y más fibra detergente neutro.

A pesar de esto es reconocido como un forraje resistente a condiciones agroecológicas y de manejo difíciles por su mayor rusticidad. Además, el centeno se puede pastorear durante la primavera y el otoño dando buenos resultados (Kilcher 1992). En países como Canadá el centeno se usa como fuente de forraje en el otoño y primavera o en ambas estaciones y posteriormente se deja crecer para cosechar los granos (Vega-García *et al.*, 2021).

El centeno es un excelente forraje especialmente cuando se combina con otras especies forrajeras de gramíneas y leguminosas. Generalmente proporciona más forraje que otros cereales a finales de otoño y principios de primavera debido a su rápido crecimiento y su adaptación a las bajas temperaturas (GRDC, 2018).

2.8. Ganadería y cambio climático

La producción ganadera juega un papel muy importante en la seguridad alimentaria, los medios de vida rurales y el desarrollo en general, ya que los productos derivados de los animales de granja son una fuente de alimentos para amplios sectores de la población mundial, y su demanda es creciente debido al aumento poblacional y del poder adquisitivo en los países emergentes. Además, la producción ganadera es un medio de vida para muchas familias productoras del sector rural, sin embargo, los gases de efecto invernadero afectan notablemente al planeta siendo que, a nivel global, el sector ganadero aporta el 18% de las emisiones de GEI contribuyendo con el 37% del metano antropogénico (Benaouda *et al.*, 2020).

Se prevé que la producción de productos de ganado crezca a un ritmo constante hasta al menos la mitad de este siglo (Gerber *et al.*, 2013); por lo que las emisiones de metano por parte de los sistemas de ganadería bovina son motivo de creciente preocupación por parte de amplios sectores de la población.

Se ha visto que hay una gran relación entre la nutrición y las emisiones de CH₄, por lo que muchos estudios se han enfocado en encontrar soluciones a esta problemática por medio de estrategias de alimentación que favorezcan tanto al medio ambiente como a los productores y a la sociedad en general.

2.8.1. Metano entérico (CH₄)

El metano es un gas de efecto invernadero (GEI) con 23 veces mayor potencial de calentamiento global que el dióxido de carbono y un tiempo de vida media de 10 años en la

atmosfera. Es un subproducto natural de la fermentación microbiana de carbohidratos, producido en condiciones estrictamente anaeróbicas por procariontes metanogénicos altamente especializados, llamados arqueas (Hristov *et al.*, 2013). Los bovinos producen de 60 a 160 kg de CH₄/año dependiendo de su tamaño y del consumo de materia seca (Hristov *et al.*, 2013).

La fermentación microbiana de los alimentos en el rumen produce ácidos grasos volátiles (acético, propiónico y butírico) a partir de los azúcares liberados por hidrólisis de los polisacáridos; sin embargo, en conjunto también se produce y elimina metano debido a la actividad de las *archaea*-bacterias metanogénicas presentes en el rumen (Jaurena y Cantet, 2016). Esta producción de metano entérico constituye una pérdida energética para el rumiante que va de 2 a 12% de la energía bruta consumida (Vargas *et al.*, 2012).

2.8.2. Formación de metano

La formación de metano es el resultado de un complejo sistema simbiótico entre diferentes grupos microbiales presentes a lo largo del tracto digestivo del rumiante, fundamentalmente en el rumen. Los microorganismos metabolizan los carbohidratos de la dieta convirtiéndolos en ácidos grasos volátiles como acetato, butirato y propionato. En el proceso de síntesis de acetato y butirato se producen moléculas de hidrógeno las cuales deben ser removidas para mantener la eficiencia energética durante los procesos de fermentación anaerobia. Para remover este hidrógeno se hace mediante la bio-hidrogenación de ácidos grasos insaturados mediante la formación de ácido propiónico y de metano, este último se forma por un grupo de microorganismos metanogénicos (*Archea*), que es la vía más importante de remoción de

hidrógeno. Los *Archea* más destacados en el rumen son *Methanobrevibacter ruminantium*, *Methanobacterium formicicum* y *Methanomicrobium mobile* (Vargas *et al.*, 2012).

2.8.3. Medición de emisiones de metano

Existen varias técnicas para la medición directa de las emisiones de metano entérico en los rumiantes. Entre ellas están las cámaras de respiración, la técnica de hexafluoruro de azufre (SF₆) y la técnica de Green Feed (Niu *et al.*, 2018; Hristov *et al.*, 2017).

También existen técnicas indirectas mediante la técnica de producción de gas *in vitro* que también se ha utilizado para estimar la producción de metano ya sea por cromatografía de gases, con un analizador de gases portátil o con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) (Crosby-Galván *et al.*, 2018).

Sin embargo, la medición de metano entérico es complejo, costoso y poco práctico, por lo que también se han estado usando modelos para estimar las emisiones de metano (Ellis *et al.*, 2007) y se han desarrollado una serie de ecuaciones durante los últimos años para diferentes animales alimentados con forrajes o en pastoreo para estimar la emisión de CH₄ (Moraes *et al.*, 2014; Niu *et al.*, 2018; Benaouda *et al.*, 2020).

2.8.4. Estimación de emisiones de metano por ecuaciones

Existen varios modelos de predicción sólidos los cuales requieren de una gran cantidad de datos de animales bajo diferentes sistemas de gestión en todo el mundo (Ellis *et al.*, 2007), utilizando enfoques cuantitativos con modelos matemáticos para estimar la producción de metano.

Esto se ha hecho mediante la recolección de datos de diversas unidades de producción en el mundo que incluyen registros de producción de metano, junto con el consumo de materia seca (CMS), la concentración dietética de la energía bruta (EB), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), y fibra detergente neutra (FDN). También incluye registros de producción de leche (PL), concentración de grasa y proteína en la leche y peso corporal de las vacas (Niu *et al.*, 2018) por mencionar algunos.

El factor de conversión Y_m fue introducido por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPPC) para indicar la proporción de la ingesta de energía bruta del animal convertida en metano y es ampliamente utilizado para los inventarios nacionales de emisiones de GEI y la investigación global sobre estrategias de mitigación (Niu *et al.*, 2018)

2.8.5. Estrategias de mitigación de metano

Las estrategias nutricionales, incluyendo las medidas de manejo de alimentos son los métodos más prometedores para mitigar el metano entérico y la reducción general de gases de efecto invernadero. El desempeño animal está relacionado con el uso eficiente del forraje asociado con un buen manejo en la nutrición que permita combinar una mayor producción animal con medidas de reducción de metano, como la mejora de la calidad del forraje (Eugène *et al.*, 2021).

Los principales determinantes de la calidad del forraje son la composición botánica y el estado fenológico, ya que, a estados avanzados de crecimiento de las plantas, el contenido de fibra aumenta mientras que la digestibilidad disminuye. La producción y la intensidad de

metano disminuye con el aumento de la digestibilidad en los forrajes, tanto en ganado bovino como en ganado ovino (Eugène *et al.*, 2021).

Las medidas de mitigación que mejoran la productividad también tienen las mejores perspectivas para minimizar las compensaciones entre la mitigación, la seguridad alimentaria y el bienestar de los productores (Gerber *et al.*, 2013).

Se propone que los rumiantes alimentados con dietas basados en forrajes de calidad disminuirán la huella de carbono de la ganadería y la agricultura y mejorarán la eficiencia de los rumiantes productivos tanto en países desarrollados como los países en desarrollo.

Las estrategias propuestas son mejorar la calidad de los forrajes para optimizar la función del rumen dando resultado a una mayor síntesis de proteína microbiana a través de la alimentación con una dieta balanceada que esté de acuerdo a la etapa fisiológica del animal ya que mejorar la eficiencia general del uso de nutrientes dietéticos es la forma más eficiente de disminuir las emisiones de CH₄ por unidad de producto animal (Eugène *et al.*, 2021; Hristov *et al.*, 2014).

III. JUSTIFICACIÓN

El pastoreo continuo intensivo ha demostrado ser una opción viable en SPLPE ya que reduce los costos de alimentación y la dependencia a insumos externos mejorando así la rentabilidad y la sostenibilidad de las unidades de producción en pequeña escala.

Actualmente es importante considerar los posibles 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 socioeconómicos (disponibilidad de tierra y cantidad de animales) de las unidades de producción, a fin de evaluar estrategias que sean más adaptables a estas condiciones por lo que es necesario contar con opciones forrajeras mejor adaptadas, para así aumentar la rentabilidad y sostenibilidad de las unidades de producción, haciendo uso de los recursos con los que cuentan estas unidades. Además de todo esto es importante evaluar forrajes altamente digestibles que puedan tener un alto potencial para mitigar el metano entérico ya que se ha visto que la ganadería es la responsable del 14% de los gases de efecto invernadero antropogénico producido.

El pasto Kikuyo es una gramínea de origen subtropical que ha demostrado ser una opción factible en estos sistemas teniendo una calidad similar a la de pastos templados, caracterizada por su adaptación y su alta invasividad, llegando a considerarse muchas veces como una plaga; sin embargo, se ha utilizado de manera eficiente como forraje en estas unidades de producción.

Por otra parte, se tiene a los cereales de grano pequeño considerados como una alternativa potencial para SPLPE, teniendo la ventaja de tener un ciclo de crecimiento corto, por lo que

requieren menor cantidad de agua, con una buena producción de materia seca. En este estudio se propuso utilizar centeno, debido a su mayor rusticidad y su resistencia a condiciones agroecológicas y de manejo difíciles; por lo que es importante evaluar estos forrajes, utilizados en pastoreo.

IV. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTO UNO

- ♣ ¿Existe diferencia en el rendimiento y la composición química de la leche en vacas bajo pastoreo de praderas de Kikuyo o Kikuyo con Centeno?
- ♣ ¿Existe diferencia en la calidad nutricional en términos de materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FAD), digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS), y contenido de energía metabolizable (EM) de praderas de Kikuyo o Kikuyo con Centeno?
- ♣ ¿Existe diferencia en la disponibilidad y el rendimiento de forraje de praderas de Kikuyo o Kikuyo con Centeno?
- ♣ ¿Existe diferencia en el análisis de costos de praderas de Kikuyo o Kikuyo con Centeno?

V. HIPÓTESIS GENERALES EXPERIMENTO UNO

- ♣ No hay diferencias en el desempeño productivo en términos de rendimiento y composición química de leche (grasa, proteína y lactosa), peso vivo y condición corporal de las vacas lecheras incluidas en el experimento.
- ♣ No existen diferencias en los rendimientos de forraje en kg MS/ha, composición química del forraje MS, MO, PC, FND, FAD y DIVMS entre las praderas.
- ♣ No existen diferencias en el análisis de costos de praderas de Kikuyo y Kikuyo con Centeno

VI. OBJETIVOS EXPERIMENTO UNO

- ♣ Evaluar el rendimiento y composición de leche, condición corporal y peso vivo de vacas lecheras bajo pastoreo continuo de praderas de Kikuyo y Kikuyo sobresembrado con Centeno.
- ♣ Estimar la composición química de la leche en cuanto al contenido de grasa, proteína y lactosa, además de la concentración de nitrógeno ureico en leche en vacas lecheras.
- ♣ Evaluar la altura comprimida (cm), la masa herbácea en kg MS/ha; además de la composición química del forraje de las praderas cultivadas (MS, MO, FDN, FDA, PC y DIVMS).
- ♣ Realizar un análisis de costos de vacas lecheras en pastoreo de praderas de Kikuyo y Kikuyo sobresembrado con Centeno.

VII. MATERIALES Y MÉTODO EXPERIMENTO UNO

7.1. Localización del área

La evaluación se realizó 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 (INEGI, 2010). Las parcelas donde se realizó dicho experimento se ubican entre 20° 08'06.8'' Norte y 99° 53'26.5'' Oeste, en una comunidad llamada La Concepción.

Imagen 1. Localización de la pradera 1 de pasto Kikuyo (circulo verde) con respecto a las instalaciones de resguardo de los animales (color morado).



Imagen 2. Localización de la pradera 2 de pasto Kikuyo más la sobre siembra de centeno (circulo rosa) con respecto a las instalaciones de resguardo de los animales (circulo morado).



7.2. Desarrollo experimental

El experimento se realizó a través del enfoque de investigación participativa rural para el desarrollo de tecnología ganadera (Conroy, 2005) con un productor de leche en pequeña escala del 11 de junio al 23 de julio de 2021, durante tres periodos experimentales de 14 días cada uno (10 de adaptación a la dieta y 4 de muestreo) siguiendo la metodología de Marín-Santana *et al.* (2020).

7.3. Variables de diseño y animales experimentales

Se seleccionaron 8 vacas Holstein multíparas, que fueron distribuidas en dos grupos lo más homogéneos posible, el grupo uno tenía un peso vivo promedio de 493 ± 32 kg, 172 ± 53 días en lactación, y 16 ± 2 kg/día de producción de leche inicial, el grupo dos tenía un peso vivo promedio de 415 ± 48 Kg, 135 ± 25 días en lactación, y 16 ± 2 kg/día de producción de leche inicial.

7. 4. Asignación de las vacas a la secuencia de tratamientos y distribución de los tratamientos por periodo

Se realizó en función de la etapa de lactación y rendimiento de leche de las vacas, se asignaron aleatoriamente a una secuencia de tratamientos KY-KYCEN-KY y KYCEN-KY-KYCEN.

El Cuadro 1, presenta la asignación de las vacas a la secuencia de tratamientos y distribución de los tratamientos por periodos.

Cuadro 1. Distribución de vacas y tratamientos por periodo. Experimento uno; Doble reversible.

Grupo	Vaca	PI	PII	PIII
1	7162	KY	KYCEN	KY
1	2728	KY	KYCEN	KY
1	6972	KY	KYCEN	KY
1	6661	KY	KYCEN	KY
2	6969	KYCEN	KY	KYCEN
2	2721	KYCEN	KY	KYCEN
2	2725	KYCEN	KY	KYCEN
2	2730	KYCEN	KY	KYCEN

7.5. Praderas y manejo del pastoreo

Se establecieron mediante asignación aleatoria dos praderas de las cuales las gramíneas utilizadas fueron (Cuadro 2):

Cuadro 2. Variedades de forraje y fechas de cultivos.

Identificación	Variedad	Fecha de cultivo
KY	<i>Cenchrus clandestinum</i> <i>Cenchrus clandestinum</i> + centeno (<i>Secale cereale</i>) cv.	Se estableció naturalmente de forma invasiva en tierra sin labrar y en pastoreo los siete años anteriores
KYCEN	Nacional	09 de abril de 2021

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

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.

Para la evaluación el perímetro de las praderas se ajustó a una hectárea y se delimitó con cerco eléctrico, la carga animal fue de cuatro vacas/ha.

El experimento con vacas lecheras comenzó 63 días después de la sobre siembra (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).

7.6. Tratamientos

Fueron dos tratamientos:

1. **KY**= *Cenchrus clandestinus* + *Trifolium repens* cv. Ladino
2. **KYCEN**= *Cenchrus clandestinus* + *Cecale sereale* + *Trifolium repens* cv. Ladino

Después del ordeño de la mañana las vacas fueron llevadas a las praderas y distribuidas de acuerdo con la secuencia de los tratamientos mediante pastoreo continuo intensivo de Kikuyo (KY) o Kikuyo + Centeno (KYCEN) durante 8 horas/día (08:00h a 16:00h), disponiendo de agua *ad libitum*, se suplementaron en corral con 4.5 kg de MS/vaca/día de concentrado comercial, dividido en dos porciones iguales antes de cada ordeña, una porción la mañana y la otra por la tarde.

El consumo de materia seca de las praderas se estimó 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 siguiendo la metodología de Hernández-Mendo y Leaver (2006).

7.7. Variables de Producción de forraje

Cada parcela se subdividió nominalmente en tres subparcelas similares, como unidades de muestreo.

7.7.1. Altura de las praderas.

La altura del forraje se determinó los últimos cuatro días de cada periodo experimental, se registró con un medidor de plato ascendente para medir la altura comprimida (cm) de acuerdo con la técnica de plato ascendente descrita por Hodgson (1994) que consiste en que un plato de aluminio se desliza sobre una varilla central graduada en centímetros, la varilla toca el suelo y el plato de aluminio es suspendido por la altura y densidad del forraje permitiendo conocer la altura comprimida del forraje. También se realizó con un flexómetro para medir la altura real del forraje, ya que el centeno al ser un forraje de crecimiento erecto, la medición podría verse afectada si solo se media con plato ascendente, la medición con ambos métodos se realizó siguiendo un patrón de “W” (Plata-Reyes *et al.*, 2021; Vega-García *et al.*, 2021).

7.7.2. Masa herbácea

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 (Álvarez-García *et al.*, 2020; Carrillo-Hernández *et al.*, 2020).

7.7.3. Cobertura vegetal del suelo

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 consumibles por el ganado) y otras especies, (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).

7.7.4. Composición botánica de las praderas

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 en pasto Kikuyo, centeno, trébol blanco, otros pastos, 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.*, 2009).

7.7.5 Composición bromatológica

Para determinar la composición bromatológica se utilizó la técnica de pastoreo simulado (Wayne, 1964) que consiste en recolectar muestras al azar de toda la pradera con la mano de forma semejante a los cortes que hace el ganado al pastorear, lo que permite tener un buen estimador de la calidad nutritiva del forraje consumido por las vacas.

Se recolectaron en cada una de las praderas tres muestras representativas de aproximadamente 500 g base húmeda, la recolección se hizo el último día de medición de cada periodo experimental, también se recolectó una muestra de concentrado comercial.

Los análisis de la composición química del forraje y del concentrado comercial se realizaron utilizando métodos oficiales de la AOAC (AOAC 1995). Los componentes para determinar fueron: La determinación de materia seca (MS), colocando las muestras en una estufa de aire forzado a 55°C, posteriormente se procesaron en un molino (Pulvex 200), se determinó el contenido de materia orgánica (MO), colocando la muestra en una mufla a temperatura de 550°C durante tres horas, se determinó proteína cruda (PC), utilizando el método Kjeldahl calculando el total de PC al multiplicar la cantidad de nitrógeno total presente en la muestra por 6.25 (método 990.03) la determinación de las fracciones de Fibra Detergente Neutro (FDN) (método 2002.04) y Fibra Detergente Acido (FAD) (método 973.18) se realizó mediante el método de la micro-bolsa con alfa amilasa, de acuerdo con los métodos descritos por Van Soest *et al.* (1991) y A200 bolsa de fibra, método 6 y 5, respectivamente (Ankom Technology, 2014a, 2014b). Se determinó también la Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) (Ankom, 2005). El contenido de energía metabolizable fue estimado de la fórmula del AFRC (1993) calculando el valor DOMD (materia orgánica digerible en materia seca) a partir de las fórmulas para obtener energía metabolizable de CSIRO (2007).

7.8. Variables evaluadas de Producción Animal

7.8.1. Producción de leche

El ordeño se realizó de acuerdo con las prácticas de manejo usuales de los productores participantes durante las dos ordeñas del día a las 06:30 y 17:00 horas, se registró el rendimiento de leche diariamente en cada ordeño durante los últimos cuatro días de cada periodo experimental, utilizando una báscula de reloj con capacidad para 20 kg. Para el análisis de resultados se utilizaron los valores promedio individuales de cada vaca expresando el resultado en kg de leche/vaca/día.

7.8.2. Recolección de muestras de leche para los diferentes análisis

Las muestras para determinar la composición química de la leche fueron recolectadas directamente de los contenedores individuales inmediatamente después de cada ordeño (100 ml) previa homogenización con un cucharón y desde el fondo de la cubeta, posteriormente la leche se depositó en frascos de plástico identificados previamente con el número de cada vaca. 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).

7.8.3. Nitrógeno ureico en leche (NUL)

Los análisis de nitrógeno ureico en leche se realizaron por el método colorimétrico enzimático (Chaney y Marbach, 1962), el cual se fundamenta en que la urea presente en la muestra se hidroliza mediante acción enzimática, originando según las reacciones un

compuesto coloreado (indofenol), posibilitando así su cuantificación, a través de un espectrofotómetro. Para esto se destinaron 5 ml de leche que se conservaron en congelación hasta su análisis en el laboratorio del ICAR.

7.8.4. Peso Vivo

El peso vivo de las vacas (kg) se registró al inicio y al final de cada periodo experimental, dos días consecutivos con la finalidad de disminuir la variación (Hernández-Mendo *et al.*, 2000), después del ordeño de la mañana, utilizando una báscula portátil Gallagher Weighing System MR con capacidad de 1000 kg.

7.8.5. Condición corporal

La condición corporal de las vacas se registró de acuerdo con la técnica descrita por Wattiaux (2013) del Instituto Babcock, en una escala de 1 a 5. Se realizó siempre por la misma persona.

- 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. Análisis económico

El análisis económico se realizó mediante la metodología de presupuestos parciales (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.

7.10. Diseño experimental y análisis estadístico

7.10.1. Variables de producción animal

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 y KYCEN-KY, 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: $Y_{ijkl} = \mu + S_i + C_{(i)j} + P_k + T_l + e_{ijkl}$ Dónde: 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.

7.10.2. Variables de producción de forraje

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): $Y_{ijkl} = m + sd_i + T_j + E_k + p_i +$

$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \delta_{ij} + \epsilon_{ijk}$ Donde: Y_{ijkl} = Variable respuesta μ = Media general α_i = Efecto de la subdivisión en los cultivos ($i = 1 \dots 3$) β_j = Efecto de Tratamientos (Parcela Mayor) $j = 1, 2$ γ_k = Efecto de los periodos experimentales (Parcela menor) = $1 \dots 3$ δ_{ij} = Efecto de la interacción entre los tratamientos y periodo experimental ϵ_{ijk} = Efecto de la interacción entre los tratamientos y las repeticiones al interior de cada subdivisión en los cultivos ϵ = Término residual para las Parcelas Menores.

VIII. RESULTADOS EXPERIMENTO UNO

8.1. Artículo publicado

Se presenta la carta de aceptación y resumen del artículo publicado en la revista Tropical and Subtropical Agroecosystems:

Marín-Santana, M.N., López-González, F., Morales-Almaraz. E., Plata-Reyes, D.A., y Arriaga-Jordán C.M. 2023. 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, Tropical and Subtropical Agroecosystems. 26 <http://doi.org/10.56369/tsaes.4621>

M.N. Marín-Santana, F. López-González, D.A. Plata-Reyes y C.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.

E. Morales-Almaraz. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma del Estado de México, Campus UAEM El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas, 50090 Toluca, Estado de México, México.

Autor de correspondencia: Carlos Manuel Arriaga Jordán (email: cmarriagaj@uaemex.mx)

Evaluación de praderas de pasto Kikuyo (Pennisetum clandestinum / Cenchrus clandestinus) sobre sembradas con centeno (Secale cereale) en sistemas de producción de leche en pequeña escala

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

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

Enviado el: viernes, 7 de julio de 2023 11:10 a. m.

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

CC: María Nayeli Marín Santana <mmarins222@alumno.uaemex.mx>; Felipe Lopez Gonzalez <flopezg@uaemex.mx>; Ernesto Morales Almaraz <emoralesa@uaemex.mx>;

Plata Reyes Dalia Andrea <dplata144@alumno.uaemex.mx>

Asunto: [TSAES] Editor Decision

Tropical and Subtropical Agroecosystems

Dr. Carlos Manuel Arriaga-Jordan:

We have reached a decision regarding your submission to Tropical and Subtropical Agroecosystems, "DESEMPEÑO PRODUCTIVO DE VACAS LECHERAS EN PASTOREO DE PRADERAS DE PASTO KIKUYO SOBRESEBRADAS CON CENTENO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE EN PEQUEÑA ESCALA EN LOS VALLES ALTOS DE MÉXICO".

Your submission to Tropical and Subtropical Agroecosystems has now been accepted and transferred for copyediting we will be in contact once this stage has finalized

In the mean time we invite you to update your manuscript Metadata in the journal online system information (follow the link EDIT METADATA):

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

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

author ORCID information must be registered in the journal platform in the following format:

<http://orcid.org/xxxx-xxxx-xxxx-xxxx> (without the letter "s" in http:)

Please verify that the manuscript information
(title, summary and titulo y resumen)
* it is captured in both languages windows
(spanish and english)
*Please use capital letters for "title" and
"titulo" along the phrase except for
scientific names

*update summary and keywords
Please be sure keywords are separated
by "," and not " ,"

No further action is required if you have already updated the metadata

Dr. Carlos A. Sandoval Castro

Campus de Ciencias Biologicas y Agropecuaria, Universidad Autonoma de Yucatan, Mexico carlos.sandoval@correo.uady.mx

Tropical and Subtropical Agroecosystems

<http://www.veterinaria.uady.mx/ojs/index.php/TSA>



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 OVERSEEDED WITH RYE IN SMALL-
SCALE DAIRY SYSTEMS IN THE HIGHLANDS OF MEXICO]

María Nayeli Marín-Santana¹, Felipe López- González,¹
Ernesto Morales-Almaraz², Dalía 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; cmarrigaj@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. <https://doi.org/10.56269/taae.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: <https://orcid.org/0000-0002-6033-8172>; F. López- González: <https://orcid.org/0000-0002-5518-5438>; E. Morales-Almaraz: <https://orcid.org/0000-0003-0675-2193>; D.A. Plata-Reyes: <https://orcid.org/0000-0001-9017-1177>; C.M. Arriaga-Jordán: <https://orcid.org/0000-0002-6140-0847>

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: KYKYCEN-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 pastometro, 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.

IX. PREGUNTAS DE INVESTIGACION EXPERIMENTO DOS

- ♣ ¿Existe diferencia en la producción de gas *in vitro* entre praderas de Kikuyo y Kikuyo con Centeno?
- ♣ ¿Existe diferencia en la estimación de emisiones de metano entre praderas de Kikuyo y Kikuyo con Centeno?

X. HIPOTESIS GENERALES EXPERIMENTO DOS

- ♣ No existe diferencia en la producción de gas *in vitro* entre praderas de Kikuyo y Kikuyo con Centeno.
- ♣ No existe diferencia en la estimación de emisiones de metano entre praderas de Kikuyo y Kikuyo con Centeno.

XI. OBEJETIVOS EXPERIMENTO DOS

- ♣ Evaluar el perfil *in vitro* de la fermentación ruminal a partir de la técnica de producción de gas *in vitro* de praderas de Kikuyo y Kikuyo con Centeno.
- ♣ Evaluar la estimación de emisiones de metano mediante ecuaciones.

XII. MATERIALES Y METODO EXPERIMENTO DOS

12.1 Localización del sitio de estudio

El estudio se realizó en una unidad de producción de leche a pequeña escala ubicada en el municipio de Aculco en el estado de México, entre 20° 06 y 20° 17 N y entre 99° 40 y 100° W y altitud media de 2440 metros sobre el nivel del mar. Con un clima subhúmedo templado y una estación lluviosa de mayo a octubre. La precipitación anual va de 700 a 1000 mm, con temperatura media anual de 13.5°C y presencia de heladas de noviembre a febrero (Celis-Álvarez *et al.*, 2016).

12.2 Desarrollo experimental y tratamientos

Se evaluaron dos praderas, ambas con una superficie de 1 ha, una pradera invadida naturalmente por una gramínea subtropical Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) (KY) y la otra pradera de Kikuyo más la sobresiembra de centeno (*Secale cereale*) (KYCEN), la cual se realizó el día 09 de abril de 2021, ambas en asociación con trébol blanco (*Trifolium repens*) cv. Ladino, entre otras especies de pasto no identificadas, ambas praderas son utilizadas para el pastoreo de vacas lecheras.

La recolección de las muestras se realizó en los meses de junio y julio de 2021, durante la temporada de lluvias. Se realizaron tres muestreos de forraje en intervalos de 14 días. El experimento se realizó siguiendo las pautas de la investigación participativa rural (Conroy, 2005).

12.3 Variables evaluadas

12.3.1 Cinética de fermentación ruminal y digestibilidad *in vitro*

Se recolectaron muestras de 200 g de forraje mediante la técnica de pastoreo simulado en diferentes sitios de las praderas evaluadas y fueron colocadas en una estufa de sacado a 55 ° C hasta peso constante, posteriormente fueron molidas a 2.0 mm y procesadas para determinar la digestibilidad, energía metabolizable y cinética de fermentación ruminal mediante la técnica de producción de gas *in vitro*.

Para determinar las variables de la cinética de fermentación ruminal del forraje de las praderas se utilizó líquido ruminal de dos vacas a las cuales se les extrajo el líquido por medio de una sonda nasogástrica, estas vacas tenían una dieta compuesta de pastoreo, ensilado de maíz y concentrado comercial. De acuerdo con el procedimiento descrito por Theodorou *et al.* (1994), se pesaron 990±0.01 mg de muestras del forraje seco de cada pradera, colocándose en botellas de vidrio y tapa de crimpado con capacidad de 120 ml, añadiendo 90 ml de solución amortiguadora y 10 ml de líquido ruminal en una proporción de 9:1 (vol/vol), previamente gaseada con CO₂ por 20 minutos para generar anaerobiosis.

Posteriormente las muestras se incubaron a 39 ° C y la producción de gas fue medida usando un transductor de presión (Delta ohm), a las horas: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 48, 52, 56, 60, 72, 84 y 96. Cada muestra fue analizada por sextuplicado con incubaciones de 96 horas en dos corridas repetidas en periodos diferentes.

Después de 96 horas de incubación los residuos de cada muestra fueron analizados para determinar la digestibilidad de la MS, MO y FDN (Celis Álvarez *et al.*, 2017).

La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) se determinó a partir del sustrato residual de tres frascos removido con agua destilada y filtrado en crisoles Schott Duran (numero 1) que posteriormente fueron llevados a la estufa a 105 ° C por una hora. Para el caso de la digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro (DIVFDN) los residuos de los otros tres frascos se removieron con 50 ml de solución FDN, posteriormente se colocaron en autoclave a 105 ° C durante una hora, se filtraron en crisoles Schott Duran (numero 1) y fueron llevados a la mufla a 450 ° C durante 4 horas. El cálculo de la DIVMS se realizó por diferencia de peso entre la MS de la muestra inicial y la MS del residuo de producción de gas, mientras que la DIVFDN se calculó usando los valores de digestibilidad de FDN de la muestra ya incubada entre el contenido de FDN de la muestra inicial. El contenido de cenizas de las muestras después de la incubación a 96 h se utilizó para determinar la materia orgánica (MO) residual y la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO) mediante la micro técnica propuesta por Pell y Schofield (1993).

Los resultados obtenidos se utilizaron para obtener los parámetros de fermentación *in vitro*, los cuales se estimaron mediante el ajuste de volumen de gas acumulado obtenido de cada botella, al modelo matemático desarrollado para este estudio (Krishnamoorthy *et al.*, 1991), mediante el uso del programa Grafit V3 (1992) que emplea la siguiente ecuación:

$$PG = B (1 - \exp -c (t-lag))$$

Dónde: PG= producción total de gas (ml gas /100 mg MS), B= producción asíntota de gas de la fermentación de la fibra detergente neutra, c= tasa de degradación de producción de gas (por hora), lag= tiempo transcurrido antes de que empiece la fermentación de los carbohidratos estructurales (Aragadvay-Yungán *et al.*, 2015).

El extracto etéreo (EE) se determinó mediante el método de extracción por solvente por inmersión (AOAC, 2000) y la energía bruta (EB) para la estimación de las emisiones de metano se calculó según Castelán-Ortega *et al.* (2014).

12.3.2 Emisiones de metano entérico

Las emisiones de metano se estimaron a partir del modelo planteado por Niu *et al.* (2018). Utilizando datos de un trabajo anterior (Marín-Santana *et al.*, 2023) donde se utilizaron ocho vacas Holstein multíparas, similares con respecto a los días en leche, rendimiento diario de leche y peso vivo, con un diseño experimental de doble reversible. La ecuación utilizada fue la siguiente (Niu *et al.*, 2018):

$$\text{CH}_4 \text{ (g/día)} = -60.5 + (12.4 \times \text{CMS}) - (8.78 \times \% \text{EE}) + (2.10 \times \% \text{FND}) + (16.1 \times \% \text{grasa en leche}) + (0.148 \times \text{PV})$$

Donde: CMS es el consumo de materia seca (kg/vaca/día), EE es el extracto etéreo de la dieta, FDN es la fibra detergente neutra de la dieta y PV es el peso vivo (kg/vaca).

El factor de corrección para el metano Y_m (proporción de energía bruta pérdida como metano) se calculó a partir de (IPPC 2019):

$$Y_m = 100 \times (\text{CH}_4 \text{ (MJ/día)} / \text{EB consumida (MJ/día)})$$

Donde EB es la energía bruta.

La estimación de la energía metabolizable de los forrajes se calculó a partir de la materia orgánica digestible en la materia seca con la ecuación de la AFRC (1993).

Utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{EM} = 0.16 \times \text{DOMD} / 10.$$

Donde DOMD es la materia orgánica digerible en materia seca.

12.4 Diseño experimental y análisis estadístico

Para las variables de producción de gas y digestibilidad de MS, MO y FDN se utilizó un diseño de parcelas divididas con el siguiente modelo estadístico: $Y_{ijkl} = \mu + T_i + E_j + P_k + T_{pij} + e_{ijk}$ De donde: μ =Media general, T = efecto de la parcela mayor ($i=1, 2$); E = error experimental de la parcela mayor; P = Efecto debido a los periodos de evaluación ($k= 1, 2, 3$); T_p = Efecto entre la interacción entre parcela mayor (cultivos) y la parcela menor (periodos de evaluación); e =Variación residual

Para las variables de estimación de emisiones de metano su utilizó un diseño doble reversible mediante el siguiente modelo: $Y_{ijkl} = \mu + S_i + C_{(i)j} + P_k + T_l + e_{ijkl}$ Dónde: 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. (Kaps y Lamberson 2004).

XIII. RESULTADOS EXPERIMENTO DOS

13.1. Segundo artículo enviado

Se presenta la carta de recepción y resumen del Segundo artículo enviado a la revista indexada Agro Productividad intitulado: "In vitro nutritional assessment and estimation of methane emissions from Kikuyu grass pastures overseeded with rye" autoría de María Nayeli Marín Santana, Felipe López González, Ernesto Morales Almaraz y Carlos Manuel Arriaga Jordán.

M.N. Marín-Santana, F. López-González, D.A. Plata-Reyes y C.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.

E. Morales-Almaraz. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma del Estado de México, Campus UAEM El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas, 50090 Toluca, Estado de México, México.

Autor de correspondencia: Carlos Manuel Arriaga Jordán (email: cmarriagaj@uaemex.mx)

RV: [AgroP] Acuse de recibo del envío



Carlos Manuel Arriaga Jordan <cmarriagaj@uaemex.mx>

02/08/2023 03:47 p. m.



Para: María Nayeli Marín Santana

De: Dr. Jorge Cadena Iñiguez <agroproductividadeditor@gmail.com>

Enviado el: jueves, 13 de julio de 2023 05:19 p. m.

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

Asunto: [AgroP] Acuse de recibo del envío

Carlos Manuel Arriaga-Jordán:

Gracias por enviar el manuscrito "In vitro nutritional assessment and estimation of methane emissions from Kikuyu grass pastures overseeded with rye" a Agro Productividad. Con el sistema de gestión de publicaciones en línea que utilizamos podrá seguir el progreso a través del proceso editorial tras iniciar sesión en el sitio web de la publicación:

URL del manuscrito: <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/authorDashboard/submission/2638>

Nombre de usuario/a: cmarriagajordan

Si tiene alguna duda puede ponerse en contacto conmigo. Gracias por elegir esta editorial para mostrar su trabajo.

Dr. Jorge Cadena Iñiguez

[Agro Productividad](#)

In vitro nutritional assessment and estimation of methane emissions from Kikuyu grass pastures overseeded with rye

ABSTRACT

Objective: To determine the *in vitro* digestibility and gas production, and to estimate the methane emissions from Kikuyu grass pastures, and Kikuyu grass overseeded with rye.

Design/methodology/approach: Two pastures were assessed. One was the subtropical grass Kikuyu (*Cenchrus clandestinus*) (KY), and the other was Kikuyu grass plus overseeding with rye (*Secale cereale*) (KYCEN), both associated with white clover (*Trifolium repens* cv. Ladino). Sample collection was in June and July 2021. *In vitro* digestibility of dry matter (MS), organic matter (MO), and Neutral Detergent Fibre (FDN), as well as the methane emissions were estimated. The *in vitro* digestibility and gas production variables were analysed with a split-plot experimental design, and the methane emission variables were analysed with a doble cross-over design.

Results: There were no significant differences between treatments for dry matter (MS), organic matter (MO) or Neutral Detergent Fibre (FDN) *in vitro* digestibility, nor in methane emissions ($P>0.05$).

Implications: The *in vitro* assessment of digestibility, gas production and the estimation of methane emissions of Kikuyu grass pastures and Kikuyu plus rye enable the implementation of feeding strategies for small-scale livestock production systems that do not only benefit the farmers but also the environment.

Findings/conclusions: It is concluded that Kikuyu grass pastures and Kikuyu with rye are a viable feeding option for small-scale livestock systems

Keywords: Kikuyu grass, rye, gas production, methane.

XIV. CONCLUSIONES GENERALES

Pasto Kikuyo ha demostrado ser una buena opción para la alimentación de vacas lecheras en sistemas de producción de leche en pequeña escala, con un rendimiento similar al de pastos templados. Teniendo la ventaja principal de adaptarse muy bien a las condiciones agroecológicas de estos sistemas de producción, además de no requerir de costos de preparación de terreno ni semilla, teniendo así una mayor ventaja respecto a otras praderas que sí necesitan de estos gastos.

La sobre siembra de cereales de grano pequeño se ha utilizado para aumentar la producción de forraje de las praderas y así poder aumentar la carga animal, sin embargo no existieron diferencias significativas entre la pradera sobresembrada con centeno y la pradera de pasto Kikuyo para ninguna de las variables aquí estudiadas (rendimiento productivo de las vacas lecheras, composición química de la leche, emisiones de metano) por lo que se concluye que ambas opciones son buenas sin embargo pasto Kikuyo es la mejor opción en esta época del año debido a que sus costos de establecimiento son mínimos.

XV. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ACHARYA, S. N., MIR, Z., MOYER, J. R., ORSHINSKY B. R., AND THOMAS J. E. (2002) Effect of row spacing and seeding rate on forage yield and quality of perennial cereal rye (*Secale cereale* L.), *Can. J. Plant Sci*, 363-369.
- AFCR (1993) Animal and Food Research Council. Energy and Protein Requirements for Ruminants. An advisory manual prepared by the AFRC Technical Committee on Response to Nutrients. (CAB International, Wallingford, UK).
- 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, 7261-7268. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5582>
- ÁLVAREZ-GARCÍA C. D. ARRIAGA-JORDÁN C.M. ESTRADA-FLORES J.G. AND LÓPEZ-GONZÁLEZ F. (2020) Evaluation of soil amendments in perennial rye grass pastures associated with white and red clover in small-scale milk production systems, *Agroproductividad*, 13, 177-22. <https://doi.org/10.32854/agrop.v13i11.1771>
- ANKOM TECHNOLOGY. (2014a) Neutral Detergent Fiber in Feeds - Filter Bag Technique (for A200 and A200I). Method 6. Consultado en World Wide Web. <http://www.ankom.com>

ANKOM TECHNOLOGY. (2014b) Acid Detergent Fiber in Feeds - Filter Bag Technique (for A200 and A200I). Method 5. Consultado en World Wide Web.<http://www.ankom.com>

ANKOM. 2005. Procedures (for NDF, ADF, and *in vitro* Digestibility). Ankom Technology Method. <http://www.ankom.com>. Accessed 15 Jun 2021.

AOAC. (1995) Official Methods of Analysis. 15th ed., Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.

AOAC ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. (2000) Official Methods of analysis (17th edn), (Gaithersburg, MD, USA).

ARAGADVAY-YUNGÁN, R.G., RAYAS-AMOR, A.A., HEREDIA-NAVA, D., ESTRADA-FLORES, J.G., MARTÍNEZ-CASTAÑEDA, F.E., ARRIAGA-JORDÁN CM. (2015) In vitro evaluation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) silage alone or combined with maize silage, *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 6, 315-327.

BECERRIL GIL M.M.N., LÓPEZ GONZÁLEZ F., ESTRADA FLORES J.G., ARRIAGAJORDÁN C.M. (2018) Black oat (*Avena strigosa*) silage for small-scale dairy systems in the highlands of central México, *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 21, 467-476.

BENAOUDA, M., GONZÁLEZ-RONQUILLO, M., APPUHAMY, J.A.D.R.N., KE-BREAB, E., MOLINA, L.T., HERRERA-CAMACHO, J., KU-VERA, J.C., ÁNGE-LES-HERNÁNDEZ, J.C., CASTELÁN-ORTEGA, O.A. (2020) Development of mathematical models to predict enteric methane emission, *Livestock Scicene*, 241. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104177>

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, 103-110.
<https://doi.org/10.2989/AJRF.2008.25.3.1.598>

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, 93–101.
[10.2989/AJRF.2008.25.3.1.598](https://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., BENCHAAAR,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>

BUCKLEY, K. E. AND DEVLIN T. J. (1983) Influence of processing on in vitro digestibility

- of rye, corn, barley and oats, *Can. J. Anim Sci*, 63, 97-103.
- BURBANO MUÑOZ, V.A., LÓPEZ GONZÁLEZ, F., ESTRADA FLORES, J.G., SAINZ SÁNCHEZ, P.A., AND ARRIAGA JORDÁN, C.M. (2018) Oat silage for grazing dairy cows in small scale dairy Systems in the highlands of central Mexico, *African Journal of Range and Forage Science*, 35, 63-70. doi:10.2989/10220119.2018.1473493.
- CAMERON, L., CHAGUNDA, M.G.G., ROBERTS, D.J. AND LEE, M.A. (2018) A comparison of milk yields and methane production from three con-trasting high-yielding dairy cattle feeding regimes: Cut-and-carry, par-tial grazing and total mixed ration, *Grass and Forage Science*, 73, 789–797. DOI: 10.1111/gfs.12353
- CARRILLO-HERNÁNDEZ S., LOPEZ-GONZALEZ F., ESTRADA-FLORES JG., ARRIAGA- JORDÁN CM. (2020) Milk production and estimated enteric methane emission from cows grazing ryegrass pastures in small-scale dairy systems in Mexico, *Tropical Animal Health and Production*, 52, 3609–3619.
- CARRILLO-HERNANDEZ S., PROSPERO-BERNAL F., LOPEZ-GONZALEZ F., FLORES CALVETE G., MARTINEZ-GARCIA C. G.AND ARRIAGA-JORDAN C.M. (2021) Estimación de emisión de metano entérico en sistemas de producción de leche bovina en pequeña escala bajo diferentes estrategias de alimentación, *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24.
- CASTELÁN-ORTEGA, O.A., KU-VERA, J.C. AND ESTRADA-FLORES, J.G. (2014) Modelling methane emissions and methane inventories for cattle pro-duction systems in Mexico, *Atmósfera*, 27, 185-191.

- CELIS-ÁLVAREZ M. D., LÓPEZ-GONZÁLEZ F., ESTRADA-FLORES J.G., DOMÍNGUEZ- VARA L.A., HEREDIA-NAVA D., MUNGUÍA- CONTRERAS A. Y ARRIAGA-JORDÁN C.M. (2017) Evaluación nutricional in vitro de forrajes de cereales de grano pequeño para sistemas de producción de leche en pequeña escala, *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20, 439-446.
- 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.
- CHAMBERLAIN A.T., Y WILKINSON. (2002) Alimentación de la vaca lechera. Acribia Zaragoza, España.
- CHANEY, A.L., MARBACH, E.P. (1962) Modified reagents for determination of urea and ammonia, *Clinical Chemistry*, 8, 130-132. <https://doi.org/10.1093/clinchem/8.2.130>
- CONROY, C. (2005) Participatory livestock research, (ITDG Publishing, Bourton on Dunsmore, Warwickshire, UK.).
- CROSBY-GALVÁN, M.M., Y RAMÍREZ-MELLA, M. (2018) Técnica de producción de gas in vitro para estimar la producción de metano, *Agroproductividad*, 11, 64-69.
- 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

DANIELSSON, R., RAMIN, M., † BERTILSSON, J., LUND, P.,‡ AND HUHTANEN, P.† (2017) Evaluation of a gas in vitro system for predicting methane production in vivo, *Journal of Dairy Science*, 100, 8881-8894. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12675>

ECKARD, R.J., GRAINGER, C., AND DE KLEIN, C.A.M. (2010) Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review, *Livestock Science*, 130, 47-56.

ELLIS, J.L., KEBREAB, E., ODONGO, N.E., MCBRIDE, B.W., OKINE, E.K., AND FRANCE, J. (2007) Prediction of methane production from dairy and beef cattle, *Journal of Dairy Science*, 90, 3456–3467.

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.

EUGÈNE M., KLUMPP K. AND SAUVANT D. (2021) Methane mitigating options with forages fed to ruminants, *Grass Forage Sci*, 76, 196–204.

FADUL PACHECO L, WATTIAUX MA, ESPINOZA ORTEGA A, SÁNCHEZ 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, 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, 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.

GERBER, P., STEINFELD, H. HENDERSON, B., MOTTET, A., OPIO, C., DIJKMAN, J., FALCUCCI, A. AND TEMPIO, G. (2013) Tackling climate change through livestock. A global Assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome, Italy.

GÓMEZ-MIRANDA A., ESTRADA-FLORES JG., MORALES ALMARAZ E., LÓPEZ GONZÁLEZ F., FLORES CALVETE G., ARRIAGA-JORDÁN CM. (2020) Barley or black oat silages in feeding strategies for small-scale dairy systems in the highlands

of Mexico, *Can. J. Anim. Sci.*, 100, 221-227.

GÓMEZ-MIRANDA, A., COLÍN-NAVARRO, V., LÓPEZ-GONZÁLEZ, F., MORALES-ALMARÁZ, E., ESTRADA-FLORES, J.G. AND ARRIAGA-JORDÁN, C.M. (2021) Fatty acid profile of milk from cows fed whole-crop barley or black oat silage in small-scale dairy systems in the highlands of Mexico, *Tropical Animal Health and Production*, 53, 399. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02805-0>.

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, 178-187. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.2022540>

GRAFIT, VERSION 3 (1992) Data analysis and graphics program. Erithacus Software Ltd.

GRDC. (2018) Grains Research & Development Corporation, Cereal Rye Plant Growth and Physiology. Disponible en https://grdc.com.au/__data/assets/pdf_file/0030/369336/GrowNote-Cereal-Rye-North-4-Physiology.pdf. Consultado en noviembre de 2019.

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, 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 soyabean meal diet fed indoors, *Grass and Forage Science*, 61, 335-346.

HERNÁNDEZ-MENDO O., PÉREZ-PÉREZ J., MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ P, A., HERRERA-HARO J.G., MENDOZA-MARTÍNEZ G.D. AND HERNÁNDEZ-GARAY A. (2000) Kikuyo (*Pennisetum clandestinum Hochts.*) grazed by growing lambs at different levels of herbage allowance, *Agrociencia*, 34, 127-134.

HODGSON, J. (1994) Manejo de pastos. Teoría y práctica. Edit. Diana, Mexico City, pp. 55-180.

HORST H.E., NEUMANN M., MAREZE J., MATTOS-LEÃO J.F., BUMBIERIS-JÚNIOR V.H. & CRUZ-MENDES M. (2018) Nutritional composition of pre-dried silage of different winter cereals, *Acta Scientiarum*, 40 1-7. doi: 10.4025/actascianimsci.v40i1.42500.

HRISTOV A.N., KEBREAB E., NIU, M., OH, A., BANNINK A., BAYAT, A.R., BOLAND, T.M., BRITO, A.F., CASPER, D.P., CROMPTON, L.A., DIJKSTRA J., EUGÈNE M., GARNSWORTHY, P.C., HAQUE N., HELLWING, A.L.F., HUNTANEN, P., KREUZER, M., KUHLA B., LUND P., MADSEN, J., MARTIN, C., MOATE P.J., MUETZEL, S., MUÑOZ, C., PEIREN N., POWELL, J.M., REYNOLDS, C.K., SCHWARM, A., SHINGFIELD, K.J., STORLIEN, T.M., WEISBJERG, M.R., YÁÑEZ-RUIZ, D.R. AND YU, Z. (2017) *Symposium review:*

- Uncertainties in enteric methane inventories, measurement techniques, and prediction models1 J. Dairy Sci. 101:6655–6674 <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13536>
- HRISTOV, A.N., OH, J., FIRKINS, L., DIJKSTRA, J., KEBREAB, E., WAGHORN, G., MAKKAR, H.P.S., ADESOGAN, T., YANG, W., LEE, C., GERBER, P.J., HENDERSON, B., TRICARICO, J.M. (2013) Special Topics. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options, *Journal of Animal Science*, 91, 5045–5069. doi: <https://doi.org/10.2527/jas2013-6583>.
- INEGI. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA GEOGRAFIA E INFORMATICA. (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010. <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=07000015#collapse-Resumen>. Consultado en Agosto de 2023.
- IPCC. (2019) Emissions from livestock and manure management. In Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (ed) 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA.
- IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. (2013) Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

- JAURENA, G., Y CANTET J.M. (2016) Emisiones de metano y su mitigación: Una mirada desde distintas escalas de trabajo, *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 24, 117-122.
- JUSKIW, P. E., SALMON, D. F. AND HELM, J. H. (1999) Annual forage production from spring-planted winter cereal monocrops and mixtures with spring barley, *Can. J. Plant Sci*, 79, 565–577.
- KAPS, M., AND LAMBERSON, W. R. (2004) *Biostatistics for Animal Sciences*, CABI Publishing, Wallingford. Gran Bretaña.
- KILCHER MR (1982) Effect of cattle grazing on subsequent grain yield of fall rye (*Secale cereale* L.) in southwestern Saskatchewan, *Canadian Journal of Plant Science*, 62, 795-796.
- KRISHNAMOORTHY, U., SOLLER, H., STEINGASS, H. AND MENKE, K.H. (1991) A comparative study on rumen fermentation of energy supplements in vitro, *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 65, 28-35. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.1991.tb00237.x>
- LACTODATA. (2017) PIB agroalimentario (lechería) <http://www.lactodata.info/> (24 de mayo de 2017)
- MARAIS, J.P. (2001) Factors affecting the nutritive value of kikuyu (*Pennisetum clandestinum*): A review, *Tropical Grasslands*, 35, 65–84. https://www.tropicalgrasslands.info/public/journals/4/Historic/Tropical%20Grasslands%20Journal%20archive/PDFs/Vol_35_2001/Vol_35_02_01_pp65_84.pdf

- MARÍN SANTANA M.N., LÓPEZ GONZÁLEZ 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 high lands of Mexico, *Tropical Animal Health and Production*, 52, 1919- 1926. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02216-7>.
- 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>
- MARIN-SANTANA, M. N., LOPEZ-GONZALEZ, F., MORALES-ALMARAZ, E., PLATA-REYES D. A. Y ARRIAGA-JORDAN C. M. (2023) 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, *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26.
- 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., FISHER, G.E.J. (2000) Grassland management under grazing and animal response. In: Hopkins A (ed.), Grass: its production and utilization. Oxford: Blackwell Science, 247–291.
- MENDOZA-PEDROZA, S.I., HERNANDEZ-GARAY, A., ROJAS-GARCIA., A.R., VAQUERA-HUERTA, H., RAMIREZ-REYNOSO O. Y CASTRO-RIVERA, R. (2018) Comportamiento productivo de pasto ballico perenne solo y asociado con pasto ovillo y trébol blanco, *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9, 343-353.
- MORAES, L.E., STRATHE, A.B., FADEL, J.G., CASPER, D.P. AND KEBREAB, E. (2014) Prediction of enteric methane emissions from cattle, *Global Change Biology*. 20, 2140–2148. DOI: 10.1111/gcb.12471.
- MURILLO-AMADOR B, ESCOBAR AH, FRAGA-MANCILLAS H & PARGAS-LARA R. (2001) Rendimiento de grano y forraje de líneas de triticale y centeno en Baja California Sur, México, *Revista Fitotecnia Mexicana*, 24, 145-153.
- MUSCOLO A., PANUCCIO M.R. AND SIDARI M. (2003) Effects of salinity on growth, carbohydrate metabolism and nutritive properties of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum* Hochst), *Plant Science*, 164, 1103-1110.
- NIU, M., KEBREAB, E., HRISTOV, A.N., OH, J., ARNDT, C., BANNINK, A., BAYAT, A.R., BRITO, A.F., BOLAND, T., CASPER, D., CROMPTON, L.A., DIJKSTRA, J., EUGENE, M.A., GARNSWORTHY, P.C., HAQUE, M.N., HELLWING, A.L.F., HUHTANEN, P., KREUZER, M., KUHLA, B., LUND, P., MADSEN, J., MARTIN, C., MCCLELLAND, S.C., MCGEE, M., MOATE, P.J., MUETZEL, S., MUNOZ, C., O'KIELY, P., PEIREN, N., REYNOLDS, C.K., SCHWARM, A., SHINGFIELD,

- K.J., STORLIEN, T.M., WEISBJERG, M.R., YANEZ-RUIZ, D.R. AND YU, Z. (2018) Prediction of enteric methane production, yield, and intensity in dairy cattle using an intercontinental database, *Global Change Biology*, 24, 3368–3389. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.14094>.
- OECD. ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. (2023) Lacteos y sus productos. <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/8b675a1a-es/index.html?itemId=/content/component/8b675a1a-es> (30 de mayo de 2023)
- PELL, A.N. AND SCHOFIELD, P. (1993) Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion in vitro, *Journal of Dairy Science*, 76, 1063-1073. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77435-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77435-4)
- 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, 225. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02672-9>
- 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, 1797-1805.

<https://doi.org/10.1007/s11250-018-1621-8>

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, 4690-4695. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4476>.

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, 1537-44. <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1360-2>

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.

RAYAS, A.A., ESTRADA, J.G., LAWRENCE, F. AND CASTELÁN, O.A. (2012) Nutritional value of forage Species from the Central Highlands Region of Mexico at different stages of maturity, *Ciência Rural*, 42, 705-712. <https://www.researchgate.net/publication/255703806>

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, 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, 1–13. <https://doi.org/10.1017/S0014479722000369>

SALLAM, S.M.A., NASSER, M.E.A., EL-WAZIRY, A.M., BUENO, I.C.S. AND ABDALLA, A.L. (2007) Use of an in vitro Rumen Gas Production Tech-nique to Evaluate Some Ruminant Feedstuffs, *Journal of Applied Sciences Research*, 3, 34-41. <https://www.researchgate.net/publication/264868737>

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)

TEKELI A.S. Y ATES E. (2006) Valores nutritivos de diferentes tréboles anuales (*Trifolium* sp.) en diferentes etapas de crecimiento, *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 40.

THEODOROU, M.K., WILLIAMS, B.A., DHANOA, M.S., MCALLAN, A.B., FRANCE, J.A. (1994) Simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminants feeds, *Animal Feed Science and Technology*, 48, 185–197. doi:10.1016/0377-8401(94)90171-6

THORNTON, P.K., VAN DE STEEG, J., NOTENBAERT, A. AND HERRERO, M. (2009) The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know, *Agricultural Systems*, 101,113-127. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2009.05.002>

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, 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, 133-142. <https://doi.org/10.2989/10220119.2015.1018945>
- 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.
- VARGAS, J., CÁRDENAS, E., PABÓN, M. Y CARULLA J. (2012) Emisión de metano entérico en rumiantes en pastoreo, *Archivos de Zootecnia*, 61.
- 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. 511. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02958-y>
- VELARDE-GUILLÉN, J., LÓPEZ-GONZÁLEZ, F., ESTRADA-FLORES, J.G., RA-YAS-AMOR, A.A., HEREDIA-NAVA, D., VICENTE, F., MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, A. AND ARRIAGA-JORDÁN, C.M. (2017) Productive, economic and environmental effects of optimised feeding strategies in small-scale dairy farms in the Highlands of Mexico, *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, 111, 225-243. doi: <https://doi.org/10.12895/jaeid.20171.606>.
- WATTIAUX MA. (2013) 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 2020).

- 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, 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, 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, 47-54. <https://www.researchgate.net/publication/268440834>
- ZHANG, J., † YIN, B., † YUHUI, X., LI, J., YANG, Z. AND ZHANG, G. (2015) Legume-Cereal Intercropping Improves Forage Yield, Quality and Degradability. PLoS ONE 10(12): e0144813. doi:10.1371/journal.pone.0144813.

XVI. ANEXOS EXPERIMENTO UNO

16.1 Datos pre-experimentales de las vacas usadas en el experimento

Vaca	PL total	Peso vivo	CC	No. Partos	Días en lactación
7162	21.3	538	3	4	120
2728	15.95	504	2.5	2	120
2721	16.65	397	2.5	2	120
6969	20.1	439	2.5	5	120
6972	13.4	482	2.5	5	240
2725	13.7	348	3	2	120
6661	16	450	3	4	210
2730	16.75	479	2.5	7	180

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

16.2. Promedio de variables medidas de producción de forraje por tratamiento y por periodo

16.2.1. Disponibilidad de forraje

Pradera	Periodo	Altura		
		pastometro (cm)	Altura flexómetro (cm)	Masa herbácea (kg MS/ha)
KY	1	7.1	13.7	2470.8
KY	2	7.7	13.0	2418.7
KY	3	5.7	10.5	1304.1
KYCEN	1	7.2	30.7	1803.1
KYCEN	2	7.6	23.9	1720.8
KYCEN	3	5.6	17.6	1076.0

KY= *Cenchrus clandestinus* + *Trifolium repens* cv. Ladino; **KYCEN**= *Cenchrus clandestinus* + *Secale cereale* + *Trifolium repens* cv. Ladino.

16. 2. 2. Composición bromatológica (g/kg de MS) y estimación de Energía

Metabolizable (MJ kg/MS)

Pradera	Periodo	MS	MO	PC	FDN	FDA	DIVMS	eME
KY	1	184.6	897.1	152.8	563.1	264.9	656.8	9.2
KY	2	182.4	902.9	133.1	583.9	269.1	584.1	8.3
KY	3	252.3	901.3	143.5	620.7	263.9	610.1	8.6
KYCEN	1	212.6	897	138.9	601.1	277.1	590.1	8.3
KYCEN	2	159.8	893.7	128.4	644.4	282.7	573.6	8
KYCEN	3	147.8	900	135.3	629.6	261.9	618.1	8.7

MS=Materia Seca; **MO**= Materia Orgánica; **PC**= Proteína Cruda; **FDN**= Fibra Detergente Neutro; **FDA**=Fibra Detergente Ácido; **DIVMS**=Digestibilidad *in vitro* de la Materia Seca; **eEM**=Energía Metabolizable; **KY**= *Cenchrus clandestinus* + *Trifolium repens* cv. Ladino
KYCEN= *Cenchrus clandestinus* + *Secale cereale* + *Trifolium repens* cv. Ladino.

16.2.3. Composición bromatológica (g/kg de MS) y estimación de Energía Metabolizable (MJ/kg/MS) del concentrado comercial

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
eEM (MJ kg/MS)	12.62

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

16.3. Promedio de las variables medidas de producción animal por tratamiento y por periodo

Vaca	Secuencia	Pradera	Periodo	Producción de leche (kg de leche/vaca/día)	Peso vivo (kg)	Condición corporal (1-5)
7162	ABA	KY	1	22	491.5	3
7162	ABA	KYCEN	2	27.5	568	2.7
7162	ABA	KY	3	21.1	587	2.5
6969	BAB	KYCEN	1	24.5	452	3
6969	BAB	KY	2	20.9	457	3
6969	BAB	KYCEN	3	20	469	3
2728	ABA	KY	1	16.8	449	2.2
2728	ABA	KYCEN	2	15.5	515	3
2728	ABA	KY	3	13.1	574	3
2721	BAB	KYCEN	1	16	373	2.7
2721	BAB	KY	2	15.5	414	2.7
2721	BAB	KYCEN	3	13.9	422	2.5
6972	ABA	KY	1	14.2	502.5	2.7
6972	ABA	KYCEN	2	11.7	479.5	2.7
6972	ABA	KY	3	9.4	527	2.5
2725	BAB	KYCEN	1	14.8	351	3
2725	BAB	KY	2	13.7	338.5	3
2725	BAB	KYCEN	3	11.7	366	3
6661	ABA	KY	1	16.9	489	2.5
6661	ABA	KYCEN	2	15.5	443.5	3
6661	ABA	KY	3	14.6	507.5	3
2730	BAB	KYCEN	1	17.5	442.5	2.7
2730	BAB	KY	2	17.8	485.5	2.5
2730	BAB	KYCEN	3	15.9	506	3

KY= *Cenchrus clandestinus* + *Trifolium repens* cv. Ladino; **KYCEN**= *Cenchrus clandestinus* + *Secale cereale* + *Trifolium repens* cv. Ladino.

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

Vaca	Secuencia	Pradera	Periodo	Grasa (g/kg)	FCM (3.5%)	Proteína (g/kg)	Lactosa (g/kg)	NUL (mg/dL)
7162	ABA	KY	1	31.02	20.58	28.32	42.42	15.91
7162	ABA	KYCEN	2	32.52	26.39	28.95	43.37	14.69
7162	ABA	KY	3	30.87	19.69	28.42	42.55	16.88
6969	BAB	KYCEN	1	38.57	17.77	30.5	45.67	14.84
6969	BAB	KY	2	40.37	16.85	30.85	45.8	17.95
6969	BAB	KYCEN	3	40.92	14.36	30.37	45.45	15.63
2728	ABA	KY	1	35.82	14.39	28.65	42.9	15.91
2728	ABA	KYCEN	2	36.42	11.97	29.12	43.6	15.17
2728	ABA	KY	3	38.42	9.92	29.2	43.7	18.74
2721	BAB	KYCEN	1	36.27	17.25	28.6	42.82	14.16
2721	BAB	KY	2	36.35	15.84	29.07	43.5	15.83
2721	BAB	KYCEN	3	36.35	14.92	28.9	43.27	16
6972	ABA	KY	1	32.7	23.59	28.25	42.3	13.81
6972	ABA	KYCEN	2	33.7	20.46	28.22	42.3	13.7
6972	ABA	KY	3	32.82	19.29	28.25	42.25	14.76
2725	BAB	KYCEN	1	35.12	16.03	29.15	43.65	11.36
2725	BAB	KY	2	36.15	15.79	29.17	43.7	14.37
2725	BAB	KYCEN	3	37.07	14.37	29.25	43.8	14.48
6661	ABA	KY	1	32.62	14.23	28.35	42.5	14.69
6661	ABA	KYCEN	2	34.71	13.64	28.82	43.15	16.81
6661	ABA	KY	3	32.8	11.28	28.17	42.2	17.56
2730	BAB	KYCEN	1	46.3	20.71	28.75	42.97	12.41
2730	BAB	KY	2	43.95	20.38	29.7	44.47	13.44
2730	BAB	KYCEN	3	46.07	18.75	29.67	44.45	13.5

FCM (3.5%) = Leche Corregida en Grasa; **NUL**= Nitrógeno Ureico en Leche; **KY**=

Cenchrus clandestinus + *Trifolium repens* cv. Ladino; **KYCEN**= *Cenchrus clandestinus* +

Secale cereale + *Trifolium repens* cv. Ladino.

16.5. Consumo de concentrado, pradera, total (kg de MS), necesidades totales de energía metabolizable (EM) y aporte de la dieta de EM (MJ EM/día)

Vaca	Secuencia	Pradera	Periodo	Consumo			Necesidades	
				Concentrado	Pradera	Total	totales de EM	Aporte de EM a la dieta
7162	ABA	KY	1	4.60	10.48	15.08	165.51	165.51
7162	ABA	KYCEN	2	4.60	12.30	16.90	170.04	170.04
7162	ABA	KY	3	4.60	11.63	16.23	169.95	169.95
6969	BAB	KYCEN	1	4.60	13.11	17.71	179.80	179.8
6969	BAB	KY	2	4.60	11.19	15.79	162.50	162.5
6969	BAB	KYCEN	3	4.60	10.37	14.97	159.22	159.22
2728	ABA	KY	1	4.60	7.46	12.06	135.60	135.6
2728	ABA	KYCEN	2	4.60	8.30	12.90	134.79	134.79
2728	ABA	KY	3	4.60	7.18	11.78	128.53	128.53
2721	BAB	KYCEN	1	4.60	6.97	11.57	124.56	124.56
2721	BAB	KY	2	4.60	7.10	11.70	125.72	125.72
2721	BAB	KYCEN	3	4.60	6.02	10.62	118.33	118.33
6972	ABA	KY	1	4.60	6.62	11.22	127.28	127.28
6972	ABA	KYCEN	2	4.60	5.78	10.38	112.68	112.68
6972	ABA	KY	3	4.60	4.71	9.31	105.63	105.63
2725	BAB	KYCEN	1	4.60	6.36	10.96	119.06	119.06
2725	BAB	KY	2	4.60	5.62	10.22	112.36	112.36
2725	BAB	KYCEN	3	4.60	4.60	9.20	105.05	105.05
6661	ABA	KY	1	4.60	7.87	12.47	139.67	139.67
6661	ABA	KYCEN	2	4.60	7.56	12.16	128.28	128.28
6661	ABA	KY	3	4.60	7.31	11.91	129.73	129.73
2730	BAB	KYCEN	1	4.60	8.82	13.42	141.14	141.14
2730	BAB	KY	2	4.60	9.39	13.99	146.30	146.3
2730	BAB	KYCEN	3	4.60	8.18	12.78	138.66	138.66

KY= *Cenchrus clandestinus* + *Trifolium repens* cv. Ladino; **KYCEN=** *Cenchrus*

clandestinus + *Secale cereale* + *Trifolium repens* cv. Ladino.

XVII. ANEXOS EXPERIMENTO DOS

17.1 Promedio de las variables de las características de producción de metano (CH₄)

por tratamiento y por periodo

Vaca	Secuencia	Pradera	Periodo	CH ₄					Ym (% ingesta de EB)
				CH ₄ (g/vaca/d)	MJ/vaca/ d	CH ₄ (g/kg CMS)	CH ₄ (g/kg leche)	CH ₄ (g/kg LCE)	
7162	ABA	KY	1	305.50	16.87	22.33	13.89	14.70	6.56
7162	ABA	KYCEN	2	343.27	18.96	23.42	12.48	12.88	6.88
7162	ABA	KY	3	330.50	18.25	23.66	15.66	16.61	6.95
6969	BAB	KYCEN	1	347.31	19.18	21.93	14.18	13.39	6.44
6969	BAB	KY	2	313.23	17.30	23.34	14.99	13.80	6.86
6969	BAB	KYCEN	3	317.49	17.53	24.29	15.87	14.58	7.14
2728	ABA	KY	1	270.24	14.92	24.26	16.09	15.94	7.13
2728	ABA	KYCEN	2	294.52	16.26	25.65	19.00	18.61	7.54
2728	ABA	KY	3	288.60	15.94	27.51	22.03	21.03	8.09
2721	BAB	KYCEN	1	257.91	14.24	24.06	16.12	15.89	7.07
2721	BAB	KY	2	253.62	14.01	24.62	16.36	16.06	7.24
2721	BAB	KYCEN	3	249.81	13.79	25.94	17.97	17.65	7.62
6972	ABA	KY	1	262.61	14.50	25.15	18.49	19.14	7.39
6972	ABA	KYCEN	2	252.74	13.96	26.63	21.60	22.06	7.83
6972	ABA	KY	3	249.37	13.77	29.10	26.53	25.57	8.55
2725	BAB	KYCEN	1	245.09	13.53	23.98	16.56	16.49	7.05
2725	BAB	KY	2	223.90	12.36	24.42	16.34	16.07	7.18
2725	BAB	KYCEN	3	280.79	15.51	23.30	24.00	23.31	6.85
6661	ABA	KY	1	276.20	15.25	24.04	16.34	16.92	7.06
6661	ABA	KYCEN	2	271.94	15.02	24.97	17.54	17.60	7.34
6661	ABA	KY	3	271.32	14.98	25.62	18.58	19.22	7.53
2730	BAB	KYCEN	1	307.64	16.99	25.09	17.58	15.34	7.37
2730	BAB	KY	2	303.11	16.74	25.15	17.03	15.17	7.39
2730	BAB	KYCEN	3	305.17	16.85	26.91	19.19	16.70	7.91

KY= *Cenchrus clandestinus* + *Trifolium repens* cv. Ladino; **KYCEN**= *Cenchrus clandestinus* + *Secale cereale* + *Trifolium repens* cv. Ladino; **LCE**= Leche Corregida en Energía; **CMS**=consumo de materia seca; **Ym**= porcentaje de energía bruta pérdida como metano.

17.2. Promedios de las variables de digestibilidad *in vitro* (g/kg MS) y energía metabolizable (MJ EM kg⁻¹ MS) por tratamiento y por periodo

PRADERA	PERIODO	DINFND	DIVMO	DIVMS	EM
KY	1	835.17	835.93	783.83	10.65
KY	2	757.06	825.68	773.42	10.51
KY	3	830.71	826.42	773.16	10.51
KYCEN	1	814.84	836.78	772.54	10.5
KYCEN	2	823.35	834.11	774.75	10.53
KYCEN	3	835.45	839.79	783.69	10.65

DIVMS= Digestibilidad *in vitro* de la Materia Seca; **DIVMO**= Digestibilidad *in vitro* de la Materia Orgánica; **DIVFDN**= Digestibilidad *in vitro* de la Fibra Detergente Neutro; **EM**= Energía Metabolizable; **KY**= *Cenchrus clandestinus* + *Trifolium repens* cv. Ladino; **KYCEN**= *Cenchrus clandestinus* + *Secale cereale* + *Trifolium repens* cv. Ladino;

17.3. Promedio de las variables de los parámetros de producción de gas in vitro debido a la fermentación del forraje por tratamiento y por periodo

PRADERA	PERIODO	B(ml gas g-1 MS)	cB (g h-1)	Tiempo Lag (h)
KY	1	225.89	0.03	7.72
KY	2	234.7	0.03	6.04
KY	3	227.39	0.03	5.57
KYCEN	1	230.86	0.03	8.34
KYCEN	2	234.12	0.03	5.99
KYCEN	3	237.3	0.03	6.12

B= Gas producido de la fracción insoluble pero potencialmente degradable, **cB**= Tasa de fermentación producida a partir de la fracción insoluble pero degradable; **lag**= Tiempo (horas) antes de que comience la fermentación de la fracción insoluble (FDN); **KY**= *Cenchrus clandestinus* + *Trifolium repens* cv. Ladino; **KYCEN**= *Cenchrus clandestinus* + *Secale cereale* + *Trifolium repens* cv. Ladino.

XVIII. TRABAJO ENVIADO A RNIP

Se envió un trabajo a las Reuniones Nacionales de Investigación e Innovación Pecuaria, Agrícola, Forestal y Acuícola Pesquera 2023, intitulado: Estimación de emisiones de metano en praderas de Kikuyo en sistemas de producción de leche en pequeña escala en el estado de México autoría de María Nayeli Marín Santana, Felipe López González, Ernesto Morales Almaraz y Carlos Manuel Arriaga Jordán.

M.N. Marín-Santana, F. López-González, D.A. Plata-Reyes y C.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.

E. Morales-Almaraz. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma del Estado de México, Campus UAEM El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas, 50090 Toluca, Estado de México, México.

Registro de Trabajo Científico a Reuniones Científicas 2023



reunionescientificas@inifap.gob.mx <reunionescientificas@inifap.gob.mx>
30/06/2023 01:47 p. m.



Para: María Nayeli Marín Santana

Estimada (o) MARIA NAYELI MARÍN SANTANA:

Su trabajo científico titulado: **ESTIMACION DE EMISIONES DE METANO EN PRADERAS DE KIKUYO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE EN PEQUEÑA ESCALA EN EL ESTADO DE MEXICO.** se ha recibido exitosamente para su registro en la Reunión Nacional de Investigación e Innovación **Pecuaria**, en la sección **Forrajes y manejo de pastizales**,

Tú Folio de Registro es: RP138

Los resúmenes serán evaluados por el Comité Científico cuyo dictamen es inapelable. El listado de los aceptados se publicará el 1 de septiembre de 2023 en la liga: <http://reunionescientificas.inifap.gob.mx>, en el botón "trabajos aceptados".

A nombre del Comité Organizador, agradecemos tu participación



XIX. ARTÍCULO EN COLABORACIÓN

Se trabajo un artículo siendo coautora, el cual lleva por nombre: Evaluation of the botanical composition of kikuyu and fescue grasslands associated with white clover during two seasons in the high valleys of Mexico, a la Revista Agro Productividad.

Zamora-Juárez Y.G., Plata-Reyes D.A., Marín-Santana M.N., López-González F., Hernández-Mendo O., Martínez- García C.G. and Arriaga Jordán C.M. 2022. Evaluation of the botanical composition of kikuyu and fescue grasslands associated with white clover during two seasons in the high valleys of Mexico, Agroproductividad, 15;93-102. <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i11.2343>.

Y.G. Zamora Juárez, D.A. Plata-Reyes, M.N. Marín-Santana, F. López-González, C.G. Martínez-García y C.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.

O. Hernández-Mendo. Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Programa de Ganadería, Texcoco, México. C. P. 56264. Tel. 55 5804 5900.

Evaluation of the botanical composition of kikuyu and fescue grasslands associated with white clover during two seasons in the high valleys of Mexico

Zamora-Juárez, Yessica G.¹; Plata-Reyes, Dalía A.^{1*}; Marín-Santana, María N.¹; López-González, F.¹; Hernández-Mendo, O.²; Martínez-García, Carlos G.¹; Arriaga-Jordán Carlos, M.¹

¹ Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales Campus El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, México. C. P. 50090. Tel.: 722 296 5552/722 180 6124/722 180 6136 ext. 6500.

² Colegio de Postgraduados Campus Monterillo. Programa de Ganadería, Texcoco, México. C. P. 56264. Tel. 55 5804 5900.

* Correspondence: dplata184@alumno.uaemex.mx

ABSTRACT

Objective: To evaluate the botanical composition of grasslands of kikuyu (*Cenchrus clandestinus*) compared to tall fescue (*Lolium arundinaceum* cv. Cajun II), each one in association with white clover (*Trifolium repens* cv. Ladino), in two independent experiments conducted during two seasons, autumn 2018 and winter 2019.

Methodology: Two independent experiments under small-scale milk production system (SMPS) were established in the municipality of Acuña, State of México, during autumn 2018 and/winter 2019. The botanical composition of grasslands under intensive continuous grazing by breeding cows was evaluated. One grassland planted with tall fescue cv. Cajun II and the other invaded by kikuyu; each grassland was associated with white clover cv. Ladino. The botanical composition of both experiments was analyzed using a complete randomized experimental design.

Results: The kikuyu grassland recorded significant differences ($p < 0.05$) with a higher proportion of forage during the winter 2018. Whereas the tall fescue cv. Cajun II grassland recorded a proportion of forage ($p < 0.05$) higher than its proportion of dead tissue during autumn 2019.

Study Implications: The study of the botanical composition of mixed grasslands destined for livestock grazing allows to identify, propose and define strategies for forage production facing agroclimatic and management conditions in order to generate a better and higher forage yield.

Conclusions: The proportion of kikuyu was higher than that of tall fescue cv. Cajun II during the two seasons and years evaluated. This highlights the adaptability of kikuyu grass under agroecological conditions such as the absence of rains and high temperatures, coupled with the high stocking densities of the milk production systems in the study region.

Keywords: *Cenchrus clandestinus*, winter, *Lolium arundinaceum*, autumn, *Trifolium repens*.

Citation: Zamora-Juárez, Y. G., Plata-Reyes, D. A., Marín-Santana, M. N., López-González, F., Hernández-Mendo, O., Martínez-García, C. G., & Arriaga-Jordán, C. M. (2022). Evaluation of the botanical composition of kikuyu and fescue grasslands associated with white clover during two seasons in the high valleys of Mexico. *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.33054/agroprod.111.2245>

Academic Editors: Jorge Gustavo Higuera and Lidia Iria Trejo Téllez

Received: July 01, 2022.

Accepted: November 18, 2022.

Published on line: December 26, 2022.

Agro Productividad, 10(1), November 2022, pp. 89-102.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International license.



ABSTRACT

Objective. To evaluate the botanical composition of grasslands of kikuyu (*Cenchrus clandestinus*) compared to tall fescue (*Lolium arundinaceum* cv. Cajun II), each one in association with white clover (*Trifolium repens* cv. Ladino), in two independent experiments conducted during two seasons, autumn 2018 and winter 2019.

Methodology. Two independent experiments under small-scale milk production system (SMPS) were established in the municipality of Aculco, State of Mexico, during autumn 2018 and winter 2019. The botanical composition of grasslands under intensive continuous grazing by breeding cows was evaluated. One grassland planted with tall fescue cv. Cajun II and the other invaded by kikuyu; each grassland was associated with White clover cv. Ladino. The botanical composition of both experiments was analyzed using a complete randomized experimental design.

Results. The kikuyu grassland recorded significant differences ($p \leq 0.05$) with a higher proportion of forage during the winter 2018. Whereas the tall fescue cv. Cajun II grassland recorded a proportion of forage ($p \leq 0.05$) higher than its proportion of dead tissue during autumn 2019.

Study Implications: The study of the botanical composition of mixed grasslands destined for livestock grazing allows to identify, propose and define strategies for forage production facing agroclimatic and management conditions in order to generate a better and higher forage yield.

Conclusions: The proportion of kikuyu was higher than that of tall fescue cv. Cajun II during the two seasons and years evaluated. This highlights the adaptability of kikuyu grass under agroecological conditions such as the absence of rains and high temperatures, coupled with the high stocking densities of the milk production systems in the study region.

Keywords: *Cenchrus clandestinus*, winter, *Lolium arundinaceum*, autumn, *Trifolium repens*.