



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

**ESTUDIOS SOBRE EL PASTO KIKUYO (*Cenchrus clandestinus*) EN
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE EN PEQUEÑA ESCALA
DEL ALTIPLANO CENTRAL DE MÉXICO**

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

DALIA ANDREA PLATA REYES

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. Julio de 2021



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

**ESTUDIOS SOBRE EL PASTO KIKUYO (*Cenchrus clandestinus*) EN
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE EN PEQUEÑA ESCALA DEL
ALTIPLANO CENTRAL DE MÉXICO**

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

DALIA ANDREA PLATA REYES

COMITÉ DE TUTORES

DIRECTOR DE TESIS

DR. CARLOS MANUEL ARRIAGA JORDÁN

TUTORES ADJUNTOS

DR. OMAR HERNÁNDEZ MENDO

DR. CARLOS GALDINO MARTÍNEZ GARCÍA

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. Agosto de 2021

RESUMEN

El objetivo fue evaluar mediante dos experimentos diferentes en finca a través de la investigación participativa rural las características del pasto kikuyo en comparación con dos variedades de festuca alta libres de endófitos.

El **primer experimento** tuvo como objetivo evaluar en una época poco favorable durante la estación seca y de escasez de forraje a finales de invierno e inicio de primavera del 2019 el efecto del pastoreo continuo intensivo de dos praderas; una establecida con Festuca alta cv. CJ-II (**CJ**) y otra invadida por Kikuyo (**KY**) ambas praderas sobresembradas con *Lolium multiflorum* cv. Maximus y asociadas con *Trifolium repens* cv. Ladino, la evaluación se realizó durante tres periodos experimentales de catorce días cada uno, mediante un diseño Doble Reversible. Para lo cual se eligieron ocho vacas que fueron divididas en dos grupos lo más homogéneos posible y asignadas al azar a una secuencia de tratamientos CJ-KY-CJ y KY-CJ-KY. El pastoreo se realizó durante 8 horas diarias con agua a libre acceso, en corral las vacas fueron suplementadas con 4.6 kg/vaca/día de concentrado y 6 kg de MS de ensilado de maíz/vaca/día, distribuidos en dos porciones la mitad en el ordeño de la mañana y la otra mitad en el ordeño de la tarde. Se detectó diferencia significativa ($P<0.05$) para la acumulación neta de forraje y composición química del forraje de las praderas, pero no para la digestibilidad *in vitro* o la energía metabolizable estimada. Para las variables de producción animal, el contenido de proteína en la leche fue mayor en KY ($P<0.05$). Hubo diferencias significativas ($P<0.05$) entre los periodos experimentales para el contenido de grasa de la leche y el nitrógeno ureico en leche. En términos del contenido de ácidos grasos, hubo interacciones significativas ($P<0.05$) para el ácido graso vaccénico (C18:1t11) y el ácido linoleico (C18:2c9c12) con

valores más altos durante el Periodo 3. El ácido linolénico (C18:3c9c12c15) fue mayor en la leche cuando las vacas pastorearon KY y significativamente más alto ($P < 0.05$) durante el Periodo 3.

A partir, de los resultados obtenidos se concluye que la pradera establecida con la variedad de Festuca alta cv. Cajun II (CJ) e invadida por kikuyo, mostró una mayor disponibilidad de forraje. El pastoreo a base de pasto kikuyo (KY) en la estación seca de invierno por vacas lecheras dio como resultado leche con atributos favorables dado un mayor contenido de ácidos grasos linolénicos y ruménico, además de un menor contenido de ácidos grasos saturados.

El **segundo experimento** tuvo por objetivo evaluar el efecto de la estación del año sobre la disponibilidad, calidad nutricional, composición botánica y morfológica del forraje de praderas asociadas con trébol blanco (*Trifolium repens* cv. Ladino) invadidas por kikuyo (*Cenchrus clandestinus*). El experimento se realizó en sistemas de producción de leche en pequeña escala durante 336 días, dividido en doce periodos experimentales de 28 días cada uno de abril de 2019 a marzo de 2020. Se evaluaron dos praderas; una establecida con Festuca alta cv. TF-33 (**TF**) y otra invadida por kikuyo (**KY**) ambas praderas sobresembradas con *Lolium multiflorum* cv. Maximus y asociadas con *Trifolium repens* cv. Ladino.

Para los valores de acumulación neta de forraje (ANF), no se detectaron diferencias significativas ($P > 0.05$). El contenido promedio de FDN fue significativamente mayor ($P < 0.05$) para el tratamiento de KY y aumentó conforme avanzó el experimento en tanto que para los valores promedio de FDA, no se registraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre tratamientos, pero sí para periodos.

Se registró significativamente ($P < 0.05$), una mayor DOMD para el tratamiento de TF-33 del mismo modo que los valores de la estimación de EM.

En función de los resultados obtenidos se concluye que la festuca y el kikuyo asociados con trébol blanco son variedades poco competitivas y a su vez complementarias que representan una opción viable para los sistemas de producción de leche en pequeña escala, que basan la alimentación del ganado en pastoreo.

Palabras clave: *Cenchrus clandestinum*, *Lolium arudinaceum*, *Trifolium repens* ácidos grasos, estrategias de alimentación, leche de vaca.

SUMMARY

The objective was to evaluate the characteristics of kikuyo grass in comparison with two endophyte-free varieties of tall fescue through two different on-farm experiments through rural participatory research. The first experiment aimed to evaluate in an unfavorable time during the dry season and forage scarcity in late winter and early spring 2019 the effect of intensive continuous grazing of two pastures; one established with *Festuca alta* cv. CJ-II (CJ) and another invaded by kikuyo (KY) both pasture overseeded with *Lolium multiflorum* cv. Maximus and associated with *Trifolium repens* cv. Ladino, the evaluation was carried out during three experimental periods of fourteen days each, using a double cross-over design. For which eight cows were chosen that were divided into two groups as homogeneous as possible and randomly assigned to a sequence of treatments CJ-KY-CJ and KY-CJ-KY. The grazing was carried out for 8 hours a day with free access water, in the corral the cows were supplemented with 4.6 kg/cow/day of concentrate and 6 kg of DM of corn silage/cow/day distributed in two portions, half in the milking in the morning and the other half in the afternoon milking. Significant difference ($P<0.05$) was detected for net forage accumulation and chemical composition among grassland forage, but not for *in vitro* digestibility or estimated metabolizable energy. In the animal production variables, the protein content in milk was higher in KY ($P<0.05$). There were significant differences ($P<0.05$) between the experimental periods for milk fat content and milk urea nitrogen. In terms of fatty acid content, there were significant interactions ($P<0.05$) for vaccenic fatty acid (C18:1t11) and linoleic acid (C18:2c9c12) with higher values during Period 3. Linolenic acid (C18:3c9c12c15) was higher in milk when cows grazed KY and significantly higher ($P<0.05$) in Period 3. From the results obtained, it is concluded that the

pasture established with the variety of Tall fescue cv. Cajun II (CJ) and invaded by kikuyo, showed greater forage availability. Kikuyo grass (KY) grazing in the winter dry season by dairy cows resulted in milk with favorable attributes given a higher content of linolenic and rumenic fatty acids, and a lower content of saturated fatty acids. The second experiment aimed to evaluate the effect of the season of the year on the availability, nutritional quality, botanical and morphological composition of the forage of pasture associated with white clover (*Trifolium repens* cv. Ladino) invaded by kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) during twelve experimental periods in small-scale dairy systems (SSDS). The experiment was carried out for 336 days divided into twelve experimental periods of 28 days each from April 2019 to March 2020. Two meadows were evaluated, one established with *Festuca alta* cv. TF-33 (TF) and another invaded by kikuyo (KY) both pasture overseeded with *Lolium multiflorum* cv. Maximus and associated with *Trifolium repens* cv. Ladino. For the values of net forage accumulation (NHA), no significant differences were detected ($P>0.05$). The average content of NDF was significantly higher ($P<0.05$) for the KY treatment and increased as the experiment progressed, while for the average values of NDF, there were no significant differences ($P>0.05$) between treatments, but for periods. It was registered significantly ($P<0.05$), a higher DOMD for the treatment of TF-33 in the same way as the values of the estimation of EM. Based on the results obtained, it is concluded that fescue and kikuyo associated with white clover are uncompetitive varieties and, once complementary, that they represent a viable option for SSDS, which base the feeding of cattle on grazing.

Key words: *Cenchrus clandestinus*, *Lolium arudinaceum*, *Trifolium repens* fatty acids, feeding strategies, cow's milk.

ÍNDICE

ÍNDICE GENERAL	9
ÍNDICE DE CUADROS, TABLAS Y FIGURAS.....	13
CUADROS REVISIÓN DE LITERATURA	13
I. INTRODUCCIÓN	14
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	16
2.1. Producción de leche de ganado bovino en México.....	16
2.2. Alimentación de los Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala (SPLPE)	17
2.3. Características de gramíneas y leguminosas.....	19
2.3.1. Aspectos que influyen sobre el contenido de ácidos grasos del forraje	20
2.4. Variedades de forraje evaluadas en los sistemas de producción de leche en pequeña escala del Noroeste del Estado de México.....	20
2.4.1. Festuca Alta (<i>Lolium arundinaceum</i>).....	20
2.4.2. Kikuyo (<i>Cenchrus clandestinus</i>)	21
2.4.3. Trébol blanco (<i>Trifolium repens</i>)	22
2.4.4. Rye grass annual (<i>Lolium multiflorum</i>).....	23
2.5. La leche de vaca.....	23
2.5.1. Composición de la leche de vaca	24
2.6. Perfil de ácidos grasos en la leche de vaca	25
2.7. Metabolismo de lípidos.....	26
III. JUSTIFICACIÓN.....	31
III. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTO UNO.....	32
V. HIPÓTESIS GENERALES EXPERIMENTO UNO	33
VI. OBJETIVOS EXPERIMENTO UNO.....	34

6.1. Generales	34
6.2. Específicos	34
VII. MATERIALES Y MÉTODOS EXPERIMENTO UNO	35
7.1. Localización del área	35
7.2. Desarrollo experimental.....	35
7.3. Variables de diseño y animales experimentales	35
7.4. Asignación de las vacas a la secuencia de tratamientos y distribución de los tratamientos por periodo	36
7.4. Praderas y manejo del pastoreo	37
7.6. Tratamientos	38
7.7. Variables de Producción de forraje.....	39
7.7.1. Altura de las praderas	39
7.7.2. Acumulación neta de forraje (ANF).....	39
7.7.3. Composición botánica y morfológica de las praderas.....	40
7.8. Variables por evaluar de Producción Animal	40
7.8.1. Producción de leche	40
7.8.2. Recolección de muestras de leche para los diferentes análisis.....	40
7.8.3. Nitrógeno ureico en leche (NUL).....	41
7.8.4. Composición química de la leche.....	41
7.8.5. Peso Vivo	41
7.8.7. Condición corporal.....	42
7.9. Composición bromatológica	42
7.10. Perfil de ácidos grasos	43
7.11. Diseño experimental y análisis estadístico	45
7.11.1. Variables de producción animal	45

7.11.2. Variables de producción de forraje	46
VIII. RESULTADOS EXPERIMENTO UNO	47
8.1. Primer artículo enviado y aceptado.....	47
IX. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTO DOS	50
X. HIPÓTESIS GENERALES EXPERIMENTO DOS	51
XI. OBJETIVOS EXPERIMENTO DOS	52
11.1. Generales	52
11.2. Específicos	52
XII. MATERIALES Y MÉTODOS EXPERIMENTO DOS	53
12.1. Localización del área de estudio	53
12.2. Desarrollo experimental.....	53
12.3. Características de las unidades de producción.....	54
12.4. Establecimiento de praderas	55
12.5. Tratamientos	56
12.1. Variables de Producción de forraje experimento dos	56
12.1. 1. Altura de las praderas.....	56
12.1. 2. Acumulación neta de forraje (ANF).....	56
12.1. 3. Masa herbácea	57
12.1. 4. Composición botánica y morfológica de las praderas.....	57
12.1. 5. Cobertura vegetal del suelo	57
12.1. 6. Tallos por metro cuadro	58
12.1. 7. Composición bromatológica	58
13. Diseño experimental y análisis estadístico	59
13.1. Variables de producción de forraje	59
13.2. Segundo artículo enviado.....	60

XIV. ESTANCIAS DE INVESTIGACIÓN.....	63
14. Constancia de estancia corta de investigación en el Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán.....	63
14.1 Constancia de estancia de investigación en el Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAp) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo	64
14.2. Consideraciones generales	65
XV. CONCLUSIONES GENERALES.....	66
XVI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	67
XVII. ANEXOS EXPERIMENTO UNO.....	83
17.1. Datos pre-experimentales de las vacas usadas en el experimento Doble Reversible.....	83
17.2. Promedio de variables medidas de producción de forraje por tratamiento y por periodo de Disponibilidad de forraje experimento Doble Reversible	84
17.3. Composición bromatológica (g/kg de MS) y estimación de Energía Metabolizable (MJ) experimento Doble Reversible.....	85
17.4. Composición bromatológica (g/kg de MS) y estimación de Energía Metabolizable (MJ/kg/MS) de los suplementos alimenticios y kikuyo muerto experimento Doble Reversible	86
17.5. Promedio de las variables medidas de producción animal por tratamiento y por periodo experimento Doble Reversible	87
17.6. 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 experimento Doble Reversible	88
17.7. Consumo de concentrado, ensilado, pradera, total (kg de MS), necesidades totales de energía metabolizable (EM) y aporte de la dieta de EM (MJ EM/día) experimento Doble Reversible.....	89
XVIII. ANEXOS EXPERIMENTO DOS	90

ÍNDICE DE CUADROS, TABLAS Y FIGURAS

CUADROS REVISIÓN DE LITERATURA

Cuadro 1. Distribución de vacas y tratamientos por periodo experimento uno 37

Cuadro 2. Variedades de gramíneas y fecha de cultivo..... 36

Cuadro 3. Características de las unidades de producción experimento dos.....53

FIGURAS REVISIÓN DE LITERATURA

Figura 1. Metabolismo de lípidos tomado de Guía

Babcock.....**¡Error! Marcador no definido.**

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) de México, se caracterizan por hatos de 3 a 35 vacas más sus remplazos y por realizar sus actividades agropecuarias en una superficie promedio de 6.25 hectáreas, contribuyen con el 37% de la producción nacional (Hemme *et al.*, 2007) por lo que al emplear fuerza de trabajo familiar se han reportado como una opción para superar la pobreza en el medio rural (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007; Mc Dermott *et al.*, 2010). No obstante, la evaluación de la sustentabilidad en estos sistemas de producción al Noroeste del Estado de México indica que son vulnerables económicamente por concepto de alimentación debido a una mayor dependencia de insumos externos (Fadul-Pacheco *et al.*, 2013; Prospero-Bernal *et al.*, 2017; Torres-Lemus *et al.*, 2021), particularmente por el uso de concentrados comerciales, además de pajas y rastrojos adquiridos fuera de la unidad de producción (Martínez-García *et al.*, 2015).

Los sistemas de producción de leche basados en pastoreo reducen los costos de alimentación al optimizar los recursos propios de las unidades de producción, incrementado su viabilidad económica a partir del establecimiento de praderas cultivadas con variedades de gramíneas de clima templado como ryegrass perenne y anual (*Lolium perenne*, *Lolium multiflorum*), o festuca alta (*Lolium arundinaceum*) asociadas con leguminosas como trébol blanco (*Trifolium repens*), (Prospero-Bernal *et al.*, 2017; Claffey *et al.*, 2020).

Sin embargo, las praderas con gramíneas de clima templado tienen baja persistencia (dos o tres años solamente) como consecuencia del régimen agroclimático con estación seca, altas tasas de evapotranspiración y poca disponibilidad de agua de riego, así como por la presencia de alta carga animal. Esto hace que, en poco tiempo, las praderas sean invadidas por pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* antes *Pennisetum clandestinum*), gramínea de

clima subtropical originaria de África Oriental naturalizada en las áreas templadas y subtropicales del centro de México, debido a que posee vigoroso crecimiento estolonífero. Usualmente, este pasto ha sido utilizado para el pastoreo del ganado sin conocer suficientemente sus propiedades nutricionales (Rayas-Amor *et al.*, 2012; Marín Santana *et al.*, 2020).

Como otra alternativa, en México hay interés por evaluar variedades de festuca alta libre de endófitos que se caracterizan por su alto valor nutricional, rusticidad y resistencia a condiciones extremas (Rosas-Dávila *et al.*, 2020; Marín Santana *et al.*, 2020).

El objetivo de este estudio fue describir y evaluar las características de kikuyo a partir del desarrollo de dos experimentos. El **primer experimento** acerca del efecto del pastoreo continuo intensivo, la disponibilidad, la calidad nutricional y el perfil de ácidos grasos de del forraje de praderas invadidas con kikuyo sobre la respuesta productiva de vacas lecheras en términos de peso vivo, producción de leche, composición química y perfil de ácidos grasos de la leche.

El **segundo experimento** evaluó a lo largo de doce meses el efecto de la estación del año sobre la disponibilidad, la calidad nutricional, la composición botánica y morfológica del forraje de praderas asociadas con trébol blanco (*Trifolium repens* cv. Ladino) invadidas por kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) con la finalidad de generar información respecto a las limitaciones y posibilidades para el pastoreo bajo el enfoque de investigación participativa rural siguiendo las condiciones de manejo usuales de las unidades de producción en la región de estudio ante condiciones enfrentadas por productores de leche en pequeña escala del Altiplano Central de México.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Producción de leche de ganado bovino en México

Durante el 2019, los principales países productores de leche con las respectivas cifras de producción fueron la Unión Europea con 155, 300 miles de toneladas; Estados Unidos con 99, 155 miles de toneladas, la India con 91, 300 miles de toneladas, China con 31, 000 miles de toneladas, Rusia con 30, 560 miles de toneladas, Brasil con 24, 450 miles de toneladas y Nueva Zelanda con 21, 855 miles de toneladas, según lo reportado en el informe anual del SIAP (2020).

México es el octavo productor de leche a nivel mundial con 12, 647 miles de toneladas, dos de cada cien toneladas de leche que se produjeron en el mundo fueron de origen mexicano. De tal modo, que la producción de leche aumentó 267 millones 628 mil litros en relación con el mismo periodo de 2018, lo que representó un incremento del 2.2%. En este mismo periodo la producción de leche de bovino ocupó el tercer lugar en cuanto a las actividades de producción pecuaria nacional, contribuyendo con un 17.6%, sólo por debajo de la producción de carne de bovino y carne de ave con una contribución del 30.1% y 23.5%, respectivamente (CANILEC, 2019; SIAP, 2020).

En México, las cuatro principales entidades productoras de leche son Jalisco con una contribución a la 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. De acuerdo, con cifras correspondientes al comparativo del avance acumulado 2019 se produjeron 14, 928 miles de litros más respecto al 2018 (Lactodata, 2017; SIAP, 2020).

Sin embargo, en 2019 con un 11.5% de las importaciones globales México alcanzó el primer lugar por compra de leche en polvo, el volumen de importaciones para marzo de 2019 fue de 73 mil 998 toneladas. Nueve de cada diez toneladas que se importaron procedieron de Estados Unidos, lo que puede atribuirse a que Estados Unidos tiene un excedente de producción láctea de aproximadamente el 30%, debido a eso y la localización geográfica de ambos países la mayor parte de la leche en polvo importada en México proviene de Estados Unidos (SIAP, 2020).

2.2. Alimentación de los Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala (SPLPE)

La producción primaria de productos lácteos varía en todo el mundo dependiendo de un número de factores como la disponibilidad de tierras, el clima y la infraestructura. Aproximadamente el 60-65% de la dieta de una vaca proviene de pasto fresco (Joubran *et al.*, 2021). Lo anterior, aunado a la producción de maíz; así como de diversos suplementos alimenticios entre los que destacan los concentrados balanceados comerciales y recursos forrajeros en forma de heno, ensilado o rastrojos propios y adquiridos fuera de la unidad de producción puede observarse en los SPLPE (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007; Martínez-García *et al.*, 2015).

En regiones templadas del mundo los sistemas de producción láctea basados en pastos ofrecen una ventaja competitiva (Dillon *et al.*, 2008), lo anterior se atribuye a la baja producción de costos asociados con el pastoreo de diversas especies de gramíneas y leguminosas ya que al ser consumido directamente de la pradera reduce la mano de obra, la dependencia de insumos externos destinados para la alimentación del ganado o bien de

insumos para el manejo tradicional de corte y acarreo de praderas (Martínez-García *et al.*, 2015; Pincay-Figueroa *et al.*, 2016; Prospero-Bernal *et al.*, 2017; Claffey *et al.*, 2020).

Al tener la capacidad de aprovechar los forrajes verdes y no competir directamente con los humanos por semillas de cereales como los monogástricos, los rumiantes tienen la capacidad de aprovechar los nutrientes de forrajes y transformarlos en proteína de origen animal ya sea en forma de carne o leche, al descomponer la pared celular y dejar libres compuestos que pasan al torrente sanguíneo para posteriormente ser utilizados durante la síntesis de leche en la glándula mamaria (Chamberlain y Wilkinson, 2002).

La leche de vacas alimentadas en pastoreo posee un perfil nutricional con diferentes beneficios nutricionales potenciales en comparación con la leche de vacas alimentadas de manera convencional derivada de ración mixta además de que estos sistemas de pastoreo son más respetuosos con el medio ambiente y el bienestar animal. Por lo que el sistema de alimentación de las vacas ha sido identificado como factor importante capaz de modificar el perfil nutricional de la leche (Auld *et al.*, 2000; Jaubran *et al.*, 2021). Por lo tanto, es posible incrementar naturalmente los niveles de ácidos grasos en leche con la implementación de forrajes frescos como base de la dieta de vacas en lactación debido a que contienen una gran cantidad de ácidos grasos poliinsaturados, siendo cuantitativamente más importantes los ácidos grasos de cadena media y larga que representan aproximadamente del 50% al 75% del contenido total de lípidos en la leche y en su mayoría provienen de la ingesta en la dieta de ácido oleico (C18:1 cis-9), ácido linoleico (C18:2 cis-9, cis-12) y ácido linolénico (C18:3 cis-9,cis-12,cis-15) (Morales-Almaraz *et al.*, 2010; Nantapo *et al.*, 2013; Vieyra-Alberto *et al.*, 2017).

2.3. Características de gramíneas y leguminosas

Las especies de leguminosas promueven la productividad e incrementan la digestibilidad. Varios estudios han demostrado los beneficios de la inclusión de trébol blanco en los pastos debido a su capacidad para reducir las emisiones de óxido nitroso fijar el nitrógeno atmosférico y reducir la huella de carbono (Yan *et al.*, 2013). Además, asociaciones con leguminosas producen una mayor biomasa aérea de la que se espera con los monocultivos.

Se ha reportado que alrededor de un 30% de los lípidos de las gramíneas procede de los cloroplastos y que específicamente la fracción lipídica de las hojas verdes varía entre 3% y 10% del total de su materia seca (Kolver *et al.*, 2000; Khan *et al.*, 2015), en general las gramíneas en primavera contienen un 3% y 6% de lípidos y en verano seco de 2% a 4%.

Chilliard *et al.* (2001) encontraron que el contenido de lípidos de gramíneas templadas oscila entre un 1% y 3%, alcanzando los valores más altos durante la primavera y el otoño. Sin embargo, dentro de una misma especie vegetal se han descrito algunas fuentes de variación que influyen sobre la concentración total de ácidos grasos, desde la variedad cultivar, rebrote, etapa de madurez o etapa de crecimiento (proporción hoja-tallo), hasta factores locales como el tipo de suelo y condiciones de crecimiento considerando (altitud y clima), intensidad de la luz y la estación del año. En comparación con las gramíneas, las leguminosas poseen concentraciones más bajas de ácidos grasos totales (Kolver *et al.*, 2001; Marais, 2001; Chapman *et al.*, 2014; Khan *et al.*, 2015).

2.3.1. Aspectos que influyen sobre el contenido de ácidos grasos del forraje

El contenido de ácidos grasos del forraje se reduce con la madurez de las plantas relacionada con una menor proporción de hojas, el inicio de la floración y la senescencia de las hojas que provocan la degradación de las membranas del cloroplasto con la disminución de los lípidos y por lo tanto el contenido de ácidos grasos, generado un efecto de dilución que puede explicarse por un aumento en la concentración de carbohidratos estructurales (celulosa y hemicelulosa) y lignina, debido a que los tallos contienen de un 50% a un 70% menos ácidos grasos que las hojas, lo anterior refleja un forraje maduro y de baja calidad. Se ha demostrado que el marchitamiento del forraje antes de ensilar o secar para la producción de heno genera daño en los tejidos vegetales, que al combinarse con el daño generado con el acceso al aire provoca pérdidas oxidativas de los ácidos grasos poliinsaturados, por lo que los niveles de ácidos grasos poliinsaturados ingeridos a partir forrajes en forma de heno o ensilado son más bajos que los ingeridos de forraje fresco durante el pastoreo (Chapman *et al.*, 2014).

2.4. Variedades de forraje evaluadas en los sistemas de producción de leche en pequeña escala del Noroeste del Estado de México

2.4.1. Festuca Alta (*Lolium arundinaceum*)

Festuca spp. pertenece a la familia Poaceae, subfamilia Pooideae (Sleper, 1985), es una importante gramínea perenne cultivada ampliamente en regiones templadas de todo el mundo donde el estrés por calor es un factor que limita su crecimiento y producción (Zhang *et al.*, 2005) es uno de los principales forrajes frescos de temporada.

Durante la estación fría, es destinada para corte y pastoreo en suelos ligeramente ácidos hasta medianamente alcalinos, su hábito de crecimiento es erecto y tiene una buena

resistencia al pisoteo o pastoreo. Sin embargo, es una gramínea capaz de formar asociaciones simbióticas con endófitos que producen una gama de compuestos bioactivos entre los que figuran los alcaloides que protegen a la gramínea de los insectos y nematodos pero que a la vez le confieren características que perjudican el rendimiento animal.

El éxito de los endófitos se debe que el hongo infecta sistemáticamente las partes aéreas de la gramínea sin causar enfermedad obteniendo así los nutrientes necesarios para su desarrollo. Entre los efectos negativos de los alcaloides se han descrito el ergonismo y trastornos neuromusculares (Yong, 2013).

La festuca alta tiene valor nutritivo menor que el ballico perenne, mayor rusticidad, tolerancia a altas temperaturas y al déficit hídrico (Pirnajmedin *et al.*, 2016)

Uno de los problemas de la festuca alta es la intoxicación conocida como festucosis (por los alcaloides tóxicos producidos por el hongo endófito *Neothypodium coenophialum*) que afecta el desempeño de los bovinos, en cambio las variedades **Cajun II** y **TF-33**, recientemente introducida en México y evaluadas en trabajos previos en la región de estudio (Plata-Reyes *et al.*, 2018; Rosas-Dávila *et al.*, 2020; Marín-Santana *et al.*, 2020; Plata-Reyes *et al.*, 2021) tienen la ventaja de ser libres de endófitos por lo representan una opción importante de ser evaluadas (Waller, 2009).

2.4.2. Kikuyo (*Cenchrus clandestinum*)

El pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* antes *Pennisetum clandestinum*), es una gramínea perenne subtropical del este de África de crecimiento postrado que llega a alcanzar hasta 46 cm de alto cuando no tiene intervención animal ni del humano; bajo pastoreo o corte genera una cubierta densa (Marais, 2001; García *et al.*, 2014).

Se extiende muy fácil y vigorosamente naturalizada en las áreas templadas y subtropicales del centro de México que ha tenido una amplia extensión debido a su vigoroso crecimiento estolonífero; y que usualmente es destinada para el pastoreo sin conocer suficientemente sus características nutricionales (Plata-Reyes *et al.*, 2018; Marín-Santana *et al.*, 2020), ramificándose profusamente, por lo cual resiste la sequía. Su temporada de crecimiento es en primavera, verano y otoño. Se establece en regiones localizadas desde el nivel del mar hasta 3 500 metros de altitud.

2.4.3. Trébol blanco (*Trifolium repens*)

Es una leguminosa que se manifiesta dominante en la mayoría de las praderas, esto se explica por la facilidad de crecimiento de los estolones que se desarrollan a lo largo de la superficie del suelo, a partir de la corona de la planta original; y de los nudos que crecen en los estolones, los cuales dan lugar a una mayor cantidad de plantas (Hodgson, 1994), se adapta a los climas con buena humedad, generalmente se cultiva asociada a gramíneas para uso en pastoreo o corte de forraje además, de que contribuye a un mayor consumo de la pradera por el animal e incrementa la calidad nutricional de la pradera. Presenta una buena palatabilidad y alto contenido proteico, suministra grandes cantidades de nitrógeno al ser una leguminosa de mayor capacidad de fijación simbiótica. Resiste muy bien el pisoteo, dado que las defoliaciones sólo afectan a las hojas y a los pedúnculos florales, el rebrote es rápido porque no quedan dañados los puntos de crecimiento (FAO, 2013).

Con relación a la concentración de ácidos grasos totales, el trébol blanco (*Trifolium repens*) mantiene su concentración muy estable, similar durante el estado vegetativo y reproductivo (Chapman *et al.*, 2005; Guy *et al.*, 2020).

2.4.4. Rye grass annual (*Lolium multiflorum*)

El género *Lolium* (familia: Poaceae o Gramineae, subfamilia: Pooideae, Tribu: Poeae) está formado por ocho especies (Terrel, 1968) nativas de Europa, norte de África y Asia occidental, que se han distribuido en áreas templadas de todo el planeta, se propaga por semillas que poseen una alta tasa de germinación que generalmente son liberadas cerca de la planta madre en estado de latencia. Las máquinas agrícolas, así como el agua colaboran con su diseminación. En muchos casos también soportan el paso por el tracto digestivo del ganado vacuno, siendo esta otra vía de diseminación de la especie.

El rye grass anual (*Lolium multiflorum* ssp. *Multiflorum*), también llamado rye grass de Westerwolths, es de alta palatabilidad y digestibilidad (Humphereys *et al.*, 2010). En los sistemas de producción de leche en pequeña escala ha sido la gramínea de elección (Hernández- Ortega *et al.*, 2007; Anaya- Ortega *et al.*, 2009).

Diversos estudios reportan la posibilidad de sobresembrar praderas de kikuyo con rye grass anual para incrementar la calidad nutritiva y la disponibilidad de forraje con la finalidad de compensar el crecimiento estacional de kikuyo (Van der Colf *et al.*, 2015; Swanepoel *et al.*, 2017).

2.5. La leche de vaca

La leche de vaca como definición hace referencia al producto que surge de la secreción normal de la glándula mamaria, obtenida por uno o varios ordeños al día, su composición no estable y puede verse afectada por diversos factores internos y externos como la raza de la vaca, periodo de lactación, salud, edad, hora del ordeño, estación del año, temperatura y alimentación, es este último aspecto el que representa una importante oportunidad para

modificar el perfil de ácidos grasos poliinsaturados de la leche (Bauman *et al.*, 1999; Buccioni *et al.*, 2012; Vieyra-Alberto *et al.*, 2017).

La leche de vaca es una fuente importante de micro y macronutrientes en una dieta balanceada con implicaciones benéficas para la salud de los seres humanos (Calder, 2006; Nantapo *et al.*, 2013).

2.5.1. Composición de la leche de vaca

La leche de vaca está constituida por 87% de agua, 48% lactosa, 42% grasa y 35% proteína. La caseína es su principal proteína representa el 80% del total de las proteínas que contiene, el otro 20% lo conforman las proteínas séricas, además, de que es una fuente de calcio, fósforo y riboflavina (vitamina B12), contribuye también a los requerimientos de vitamina A y B1 (tiamina) (Belury, 2002; Calder, 2006)

La grasa es el principal componente energético que se encuentra en la leche y la fracción más variable de todos sus componentes que se ve afectada por factores ambientales y por factores propios de la vaca de este modo la cantidad y calidad de producción de leche se relaciona con la cantidad de energía y proteína en la dieta, la grasa de la leche se sintetiza en el retículo sarcoplasmático liso donde se concentra como glóbulos que serán liberados a la luz del alvéolo como triglicéridos (Jenkins *et al.*, 2014; Vieyra-Alberto *et al.*, 2017).

La grasa de la leche bovina está constituida por 70% de ácidos grasos saturados, 25% monoinsaturados y 5% de poliinsaturados, menos del 40% de ácidos grasos saturados están dentro de la categoría de ser poco saludables. Debido a la preocupación de los países desarrollados por la ingesta de grasa y su papel en las enfermedades cardiacas, estudios

reportan que el contenido de grasa en leche puede ser modificado al manipular la relación entre ácidos grasos saturados e insaturados por medio de la dieta de los animales debido al sustrato aportado al rumen (Elgersma *et al.*, 2015; Vieyra- Alberto *et al.*, 2017).

2.6. Perfil de ácidos grasos en la leche de vaca

En la actualidad se ha establecido entre los consumidores de alimentos de origen animal una preferencia por alimentos funcionales los cuales se han definido como cualquier alimento o ingrediente que puede proporcionar un beneficio para la salud más allá de los nutrientes tradicionales, esta preferencia ha favorecido la investigación sobre los posibles efectos positivos para la salud humana y prevención de enfermedades a través de los microcomponentes de la grasa presentes en los productos lácteos (Bauman *et al.*, 1999).

Al respecto, estudios reportan los beneficios nutricionales de sus componentes bioactivos, vitaminas, minerales y concentración de ácidos grasos, estos últimos de gran interés por la posibilidad de ser modificados con el manejo de diversas estrategias de alimentación (Vibart *et al.*, 2008; Elgersma, 2015). Los ácidos grasos; son ácidos orgánicos con al menos un carboxilo C-C (=O) OH-COOH o CO₂H y una cadena larga de carbono cuyos enlaces pueden ser dobles como en los ácidos grasos insaturados o simples como en ácidos grasos saturados. Los ácidos grasos son derivados principalmente de triglicéridos y fosfolípidos que son los principales componentes de las grasas alimentarias, los ácidos grasos se distribuyen en células donde sirven como combustible para la contracción muscular (Chen y Liu, 2020).

La transferencia final de PUFA del entorno del rumen a la síntesis de leche depende también de aspectos relacionados con los animales individuales en su metabolismo de los ácidos grasos (Khan *et al.*, 2015)

Específicamente, con el pastoreo se ha reportado que es posible incrementar los niveles de ácidos grasos poliinsaturados de la leche como el linoleico conjugado CLA cuyo principal isómero es el ácido graso ruménico (18:2 c9 t11) que representa del 75% al 95% de los isómeros del CLA en la grasa láctea (Palmquist y Stelwagen, 2006) y el ácido graso vaccénico (C18:1 t11) (Morales-Almaráz *et al.*, 2010; Vieyra- Alberto *et al.*, 2017) ambos con repercusiones favorables para la salud, influyendo sobre aspectos inmunológicos, prevención del cáncer y enfermedades cardiovasculares, debido a que actúan como inmunomoduladores a partir de la reducción de la grasa corporal (Ellis *et al.*, 2006; Nantapo *et al.*, 2013; Prado *et al.*, 2016).

2.7. Metabolismo de lípidos

Los ácidos grasos se sintetizan mediante tres fuentes principales:

- 1) Ácidos grasos esterificados en los triglicéridos a partir de las lipoproteínas que circulan en la sangre procedentes de la dieta y el metabolismo ruminal.
- 2) Ácidos grasos no esterificados presentes en la sangre provenientes de las reservas corporales.
- 3) Síntesis de *novo* en la célula epitelial mamaria.

Lo anterior puede observarse en la Figura 1.

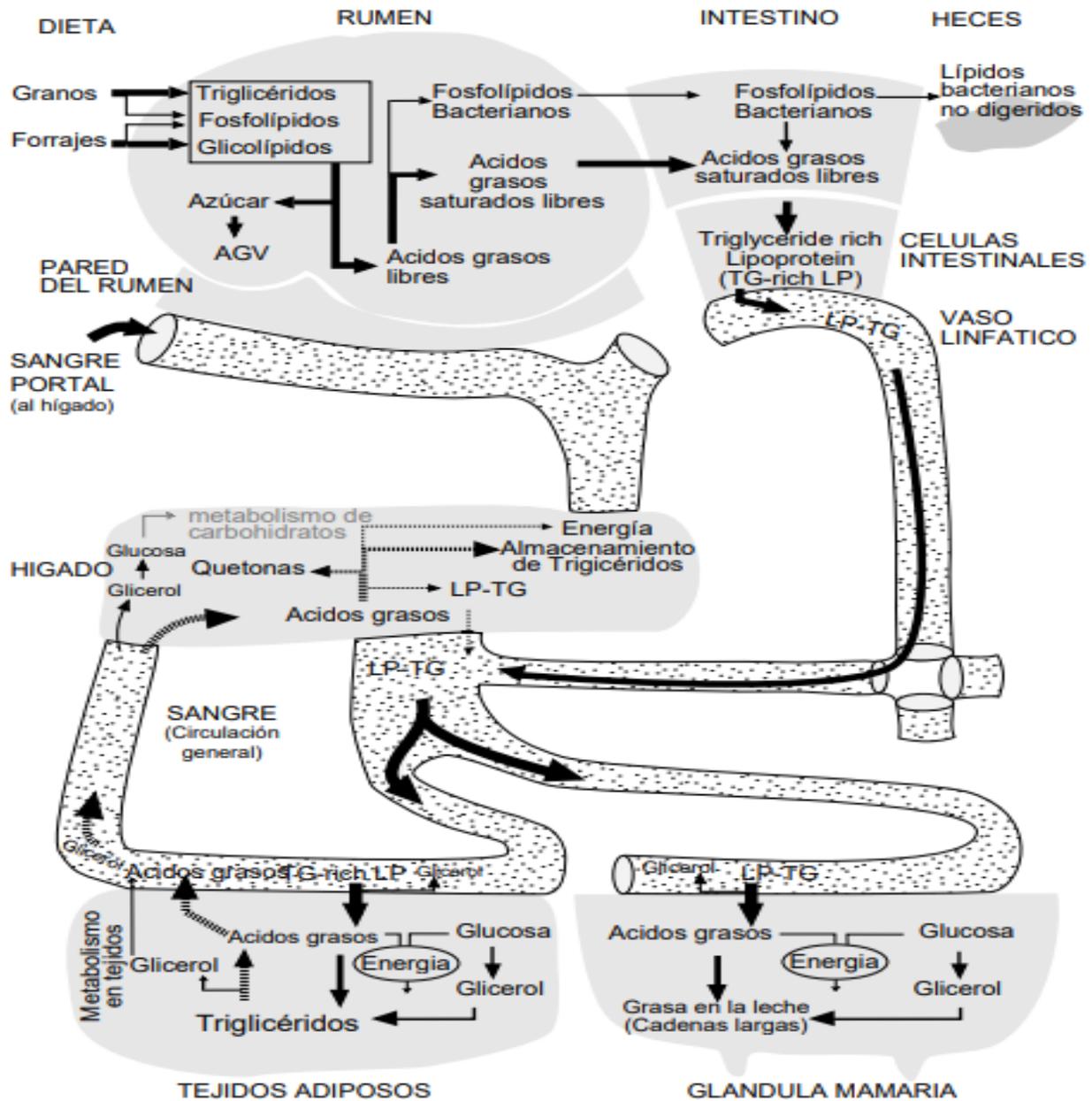


Figura 1. Metabolismo de lípidos tomado de Guía Babcock

Los ácidos grasos de cadena corta son sintetizados en la glándula mamaria, en tanto que los de cadena larga provienen de la dieta. Una vez que el forraje es ingerido por el rumiante los lípidos del alimento sufren dos procesos consecutivos:

·El primero es la **lipólisis** donde se realiza la hidrólisis de las moléculas de triglicéridos por acción de las lipasas microbianas producidas en el rumen que intervienen en los enlaces éster, provocando la liberación de ácidos grasos libres y glicerol.

Las tasas de lípolisis dependen del ecosistema microbiano en el rumen donde las variaciones en el pH del rumen afectan la actividad e la lipasa que a su vez afecta la biohidrogenación y la tasa de absorción aumenta a medida que la concentración de PUFA se incrementa en el rumen (Khan *et al.*, 2015).

·El segundo proceso consiste en la **biohidrogenación** que se caracteriza por la conversión de los ácidos grasos insaturados a saturados a través de enzimas isomerasas encargadas de mover los dobles enlaces de los ácidos grasos insaturados y de la saturación de hidrógenos en la cadena del ácido graso (Vieyra-Alberto *et al.*, 2017; Palmquist y Stelwagen, 2006).

La biohidrogenación es un proceso intracelular que implica dos etapas: la etapa uno consiste en la hidrogenación del ácido linoleico (C18:2) a su isómero principal el ácido graso ruménico (C18:1 trans-11), lo que implica la producción transitoria de ácido graso vaccenico (C18:2 cis-9, trans-11). Posteriormente, en la etapa dos se produce la saturación de ácido oleico (C18:1) hacia ácido esteárico (C18:0) (Rivero y Anrique, 2015).

Los ácidos grasos que escapan a la biohidrogenación pueden llegar a la glándula mamaria y excretarse en la leche, se han identificado más de 400 ácidos grasos. Sin embargo, el de mayor importancia para la salud humana es el CLA, que tiene una serie de isómeros posicionales (7, 9; 8,10; 9,11; 10,1 y 11,13) y geométricos (*cis* o *trans*) del ácido linoleico (C18:2 c9 c12). Los isómeros del CLA presentes en la leche pueden tener dos orígenes en

menor proporción por la isomerización en la dieta del ácido linoleico (C18:2 c9 c12) que escapa de la biohidrogenación y la gran mayoría que se forma en la glándula mamaria por acción de la enzima Δ^9 -Desaturasa que utiliza el ácido graso vaccénico (C18:1 t 11) como sustrato (Martínez-Marín *et al.*, 2013; Vieyra-Alberto *et al.*, 2017).

En estudio realizado por Chen y Liu. (2020), sobre índices nutricionales para evaluar el efecto positivo o negativo de los ácidos grasos para la prevención y tratamiento de enfermedades describen tres indicadores:

- 1) Relación PUFA/SFA (ácidos grasos insaturados/ácidos grasos saturados, por sus siglas en inglés): Presenta un impacto de la dieta en la salud cardiovascular y plantea la hipótesis de que todos los PUFA de la dieta pueden deprimir el colesterol de lipoproteínas de baja densidad y niveles más bajos de colesterol sérico, mientras que todos los AGS contribuyen a niveles más altos de colesterol sérico. De tal forma que a una relación mayor se le atribuye un efecto más positivo.
- 2) El índice de aterogenicidad (IA): Indica la relación entre la suma de AGS y PUFA, donde considera tres principales AGS C12:0, C14:0 y C16:0 con excepción de C18:0. Los AGS, se consideran pro-átero-genicos ya que favorecen la adhesión de lípidos a las células del sistema circulatorio y del sistema inmunológico. Mientras que los PUFA, se consideran anti-átero-genicos porque que inhiben la acumulación de placa y reducen los niveles de fosfolípidos, colesterol y grasas esterificadas (Chen y Liu, 2020).

El consumo de alimentos o productos con menor IA puede reducir los niveles de colesterol total y LDL-C en plasma sanguíneo humano. El valor máximo de IA sin

repercusiones para la salud humana va de 4.08 a 5.13 y en productos lácteos se han registrado rangos desde 1.42 hasta 5.13. Se ha descrito que en rumiantes la alimentación es el principal factor que influye en el IA (Nantapo *et al.*, 2014).

- 3) El índice de trombogenicidad (IT): indica el potencial de los AG para formar coágulos en los vasos sanguíneos (Chen y Liu, 2020).

III. JUSTIFICACIÓN

El pastoreo continuo intensivo como base de la alimentación de vacas lecheras ha demostrado ser una opción en el Altiplano Central de México para los SPLPE al reducir la demanda de insumos externos y optimizar los recursos propios de los sistemas de producción. Sin embargo, frente a las condiciones de manejo agroecológico como el déficit hídrico debido a la falta de agua de riego, altas temperaturas y carga animal.

Las praderas inducidas para pastoreo establecidas con variedades de clima templado con el paso del tiempo son invadidas por kikuyo, una gramínea de clima subtropical con características de resistencia, adaptabilidad y marcado crecimiento estacional que representa una alternativa para ser incluida como base de la alimentación del ganado, con cualidades que además de satisfacer los requerimientos para vacas en lactación mejoren el perfil de ácidos grasos de la leche. Por lo anterior, conocer las características de kikuyo frente al manejo usual de los productores en épocas del año diferentes permitirá generar información tendiente a conocer el potencial para esta gramínea de marcado crecimiento estacional.

III. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTO UNO

- ⌘ ¿Existe efecto de la contribución de *Cenchrus clandestinus* en pastoreo continuo intensivo sobre el desempeño productivo de vacas en lactación?
- ⌘ ¿Existe diferencia en la calidad nutricional en términos de MS, MO, PC, FDN, FDA, DOMD y eEM de praderas asociadas invadidas por *Cenchrus clandestinus* durante la transición invierno-primavera?
- ⌘ ¿Existe diferencia en disponibilidad y el rendimiento de forraje de praderas asociadas invadidas por *Cenchrus clandestinus* durante la transición invierno-primavera?

V. HIPÓTESIS GENERALES EXPERIMENTO UNO

- ⌘ No existe efecto en el desempeño animal de vacas en pastoreo de praderas asociadas invadidas por *Cenchrus clandestinus* en SPLPE.
- ⌘ No existe diferencia en la disponibilidad y el rendimiento de forraje de praderas asociadas invadidas por *Cenchrus clandestinus* en SPLPE.
- ⌘ No existe efecto en el desempeño animal de vacas en pastoreo de praderas asociadas invadidas por *Cenchrus clandestinus* en SPLPE.
- ⌘ No existe diferencia en la disponibilidad y el rendimiento de forraje de praderas asociadas invadidas por *Cenchrus clandestinus* de SPLPE.

VI. OBJETIVOS EXPERIMENTO UNO

6.1. Generales

- ⌘ Evaluar a través del método experimental bajo el enfoque de investigación participativa rural el efecto de la inclusión del pastoreo continuo intensivo de praderas asociadas invadidas por *Cenchrus clandestinus* sobre el desempeño animal, disponibilidad y calidad de forraje durante la transición invierno-primavera en SPLPE para determinar si existen diferencias entre las gramíneas evaluadas.

6.2. Específicos

- ⌘ Comparar las variables de rendimiento y calidad de forraje de cada una de las gramíneas en pastoreo para detectar si existe o no una diferencia entre ellas.
- ⌘ Evaluar la composición química del forraje de las praderas, el concentrado y ensilado de maíz a través de la determinación de la Materia Seca (MS), Materia Orgánica (MO), Fibra Detergente Neutra (FDN) y Fibra Detergente Ácida (FDA), Proteína Cruda (PC) y la Digestibilidad *in vitro* de MO.
- ⌘ Analizar los resultados obtenidos en las variables de desempeño animal y relacionarlos con los resultados obtenidos en las variables de rendimiento y calidad de forraje.
- ⌘ Medir el contenido de ácidos grasos de los alimentos ofertados al ganado lechero en pastoreo y relacionarlo con el contenido de ácidos grasos encontrados en la leche.
- ⌘ Relacionar los resultados obtenidos en las variables de desempeño animal con los resultados de producción de forraje durante la transición invierno-primavera.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS EXPERIMENTO UNO

7.1. Localización del área

La evaluación se realizó en el municipio de Aculco localizado entre las coordenadas 20° 00' y 20° 17' Norte y entre 99° 40' y 100° 00' Oeste, con clima subhúmedo y una altitud promedio de 2440 metros sobre el nivel del mar, la época de lluvias comprende desde mediados de mayo hasta octubre con una precipitación pluvial de 700 a 1000mm y una temperatura promedio de 13.5 ° C.

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 dos productores de leche en pequeña escala del 15 de febrero al 29 de marzo de 2019, durante tres periodos experimentales de 14 días cada uno (11 de adaptación a la dieta y 3 de muestreo) siguiendo la metodología (Pérez-Ramírez *et al.*, 2012; Muciño-Álvarez *et al.*, 2020; Carrillo-Hernández *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 464 ± 50 kg, 108 ± 74 días en lactación y producción de leche inicial de 14 ± 4 kg/día, el grupo dos tenía un peso vivo promedio de 515 ± 70 kg, 113 ± 73 días en lactación y producción de leche inicial de 13 ± 4 kg/día.

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

En función de la etapa de lactación y rendimiento de leche las vacas se asignaron aleatoriamente a una secuencia de tratamientos CJ-KY-CJ y KY-CJ-KY.

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

Cuadro 1. Distribución de vacas y tratamientos por periodo experimento uno; Doble Reversible

Grupo	VACA	P1	P2	P3
1	5938	CJ	KY	CJ
1	5934	CJ	KY	CJ
1	3031	CJ	KY	CJ
1	42	CJ	KY	CJ
2	3030	KY	CJ	KY
2	6661	KY	CJ	KY
2	1496	KY	CJ	KY
2	5936	KY	CJ	KY

KY= *Cenchrus clandestinum*; **TF**= *Lolium arundinaceum* cv. Cajun II; **P1**= Periodo uno; **P2**= Periodo dos; **P3**=Periodo tres

7.4. Praderas y manejo del pastoreo

Se establecieron mediante asignación aleatoria tres praderas gramínea-trébol blanco de las cuales las gramíneas utilizadas fueron (Cuadro 2):

Cuadro 2. Variedades de gramíneas y fecha de cultivo

Identificación	Variedad	Fecha de cultivo
CJ	<i>Lolium arundinaceum</i> cv. CJ-II	8 febrero de 2018
KY	<i>Cenchrus clandestinum</i>	Se establecido naturalmente de forma invasiva en tierra sin labrar y en pastoreo los cinco años anteriores

La dosis de siembra en todas las praderas fue de 30 kg/ha de semilla de gramínea y 3 kg/ha de semilla de trébol blanco (*Trifolium repens* cv. Ladino). Ambas praderas fueron sobresembradas en diciembre de 2018 con 30 kg de semilla/ha de rye Grass anual (*Lolium multiflorum* cv. Maximus) y 3 kg/ha de *Trifolium repens* cv. Ladino.

Las praderas se fertilizaron a la siembra con 50 kg de N/ha cada 31 4 días y 80 kg de P 60 kg de K/ha cada seis meses.

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.

7.6. Tratamientos

Se comparó el pastoreo continuo intensivo de cuatro variedades de gramínea:

CJ = *Cenchrus clandestinus* + *Lolium arundinaceum* cv. **Cajun II** + *Lolium multiflorum* cv. Maximus + *Trifolium repens* cv. Ladino

KY = *Cenchrus clandestinus* + *Lolium multiflorum* cv. Maximus + *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, permanecieron 8 horas diarias (9:00 a 17:00 horas) disponiendo de agua *ad libitum*, se suplementaron en corral con 4.6 kg de MS/vaca/día de concentrado y 6 kg de MS/vaca/día de ensilado de maíz distribuidos en dos porciones iguales antes de cada ordeña, a las 8:00 y 18:00 horas.

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 y el ensilado de maíz siguiendo la metodología de Hernández-Mendo y Leaver *et al.* (2006).

7.7. Variables de Producción de forraje

7.7.1. Altura de las praderas

Las mediciones de altura comprimida (cm) de las praderas se registraron los últimos cuatro días de cada período experimental, de acuerdo con la técnica de plato ascendente descrita por Hodgson (1994) que consiste en un plato de aluminio que 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. La técnica consta de 30 mediciones siguiendo un patrón de “W” cada 20 pasos, abarcando el área total de cada pradera.

7.7.2. Acumulación neta de forraje (ANF)

La determinación de la ANF es un método directo que estima la disponibilidad de forraje, empleado con la finalidad de determinar el crecimiento promedio de las gramíneas en un intervalo determinado de tiempo recomendado para el manejo y la gestión del pastoreo continuo intensivo (Hogson, 1991; Teuber, 2007). La acumulación neta de forraje (ANF) de este estudio, se obtuvo siguiendo la metodología de Hoogendoorn *et al.* (2016) con seis jaulas de exclusión al pastoreo de 0.25m² (0.5m x 0.5m) distribuidas aleatoriamente en cada periodo a lo largo de la pradera, para delimitar el área de corte se utilizaron cuadrantes de 0.16 m² (0.40m x 0.40m), el corte se realizó fuera de la jaula (día 0) y dentro de la jaula (día 14) con tijeras de mano a nivel del suelo, por diferencia se estimó la acumulación neta de forraje expresando los resultados en kg MS/ha (Teuber, 2007), repitiendo el procedimiento en cada uno de los cuatro períodos.

7.7.3. Composición botánica y morfológica de las praderas

La composición botánica y morfológica se determinó por pradera y periodo mediante la recolección al azar de cinco muestras, delimitando el área de corte con cuadrantes de metal de 0.16 m² (0.40m x 0.40m), inmediatamente después del corte se pesaron (50g) utilizando una báscula digital portátil ScoutPro, posteriormente se separaron manualmente en proporciones relativas a gramínea-trébol y material vivo-muerto que se calcularon sobre una base de MS mediante secado en horno y pesando cada una de las muestras separadas (Andueza *et al.*, 2012; Dennis *et al.*, 2015) expresando el resultado en gramos de MS.

7.8. Variables por evaluar 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. Las mediciones se realizaron los últimos cuatro días de cada periodo experimental, pesando la leche con una báscula de reloj (capacidad para 20 kg) y una cubeta. 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 (100ml) 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. En la tarde después de la ordeña (PM) con las muestras de leche de

ambos ordeños (AM y PM) se preparó una alícuota de 200 ml respecto a la producción total del día respetando la proporción de cada ordeño (Vieyra-Alberto *et al.*, 2017); 100ml de leche se destinaron para el análisis del perfil de ácidos grasos.

7.8.3. Nitrógeno ureico en leche (NUL)

Para el análisis de la concentración de nitrógeno ureico en leche (NUL) con el método colorimétrico enzimático descrito por 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 se destinaron 5 ml de leche que se conservaron en congelación hasta su análisis en el laboratorio del ICAR.

7.8.4. Composición química de la leche

En campo 50ml de leche se destinaron para el análisis de la composición fisicoquímica (grasa, proteína, lactosa y pH) mediante un analizador de ultrasonido (Lacti-check LC/01) siguiendo los procedimientos de Mc Clements. (1991), los 45 ml restantes de leche se mantuvieron en congelación como reserva.

7.8.5. Peso Vivo

El peso vivo de las vacas (kg) se registró al inicio y al final de cada periodo experimental las vacas dos días consecutivos con la finalidad de disminuir la variación (Hernández-Mendo *et al.*, 2006), después del ordeño de la mañana, utilizando una báscula portátil Gallagher Weighing System^{MR} con capacidad de 1000 kg.

7.8.7. Condición corporal

La condición corporal de las vacas se registró de acuerdo con la técnica descrita por Wattiaux (2013) del Instituto Babcock, adaptado de Edmondson *et al.* (1989), diseñada para una evaluación visual. Se realizó siempre por la misma persona.

7.9. Composición bromatológica

Para determinar la composición bromatológica y el perfil de ácidos grasos del forraje de las praderas, 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 dos muestras representativas de aproximadamente 500 g base húmeda durante los tres días de medición de cada período experimental colectando una muestra compuesta por los tres días. Las muestras de concentrado y ensilado de maíz se recolectaron el último día de cada periodo experimental.

Los componentes a determinar tanto para las muestras de pastoreo simulado del forraje de las praderas, concentrado y ensilado fueron: Materia Seca (MS) colocando las muestras en estufa de aire forzado a 55°C (Elgersma, 2015), posteriormente se procesaron en molino (Pulvex 200) y se determinó la proteína cruda (PC) que representa la combinación de la proteína verdadera y el nitrógeno no proteico se utilizó el método de Kjeldahl, calculando el total de PC al multiplicar la cantidad de nitrógeno total presente en la muestra por 6.25 (Método 954.01; AOAC, 1990).

Los compuestos inorgánicos o minerales (cenizas) se determinarán al colocar la muestra en una mufla a temperatura de 550°C durante 3 horas. La determinación de las fracciones de fibra Detergente Neutro (FDN) y Fibra Detergente Ácido (FDA) se realizó mediante el método de la micro-bolsa con alfa amilasa sin corrección de cenizas, 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).

La digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO) se realizó siguiendo los procedimientos establecidos por Tilley and Terry (1963).

El contenido estimado de energía metabolizable (*e*EM) del forraje de las praderas, concentrado y ensilado se calculó a partir de la fórmula de DOMD con la ecuación de AFRC (1993).

7.10. Perfil de ácidos grasos

El contenido de ácidos grasos del forraje de las praderas, ensilado de maíz y concentrado se determinó mediante la técnica descrita por Sukhija y Palmquist (1988), con modificaciones de Palmquist y Jenkis (2003), utilizando ácido clorhídrico metanólico al 10% para la esterificación y hexano como solvente orgánico.

El perfil de ácidos grasos de la leche se determinó a partir de una alícuota (100 ml) representativa de la muestra del ordeño de la mañana y de la tarde, previamente homogenizada y conservada inmediatamente a 4°C, hasta su análisis (Vieyra-Alberto *et al.*, 2017). La grasa de la leche fue extraída y metilada por métodos descritos por Christie (1982), modificados por Chouinard *et al.* (1999).

La separación y determinación de ésteres metílicos de ácidos grasos del forraje de las praderas, ensilado de maíz, concentrado y leche se realizó por cromatografía de gas (Clarus 500, Perkin Elmer, Waltham, Massachusetts, EE. UU.), con columna capilar de 100 m × 0.25 mm × 0.2 μm (SP-2560, Supelco, Bellefonte, Pennsylvania, EE. UU.) y nitrógeno como gas portador. Tanto el detector como el inyector se mantuvieron a 260 °C, con la temperatura inicial del horno a 140 °C durante 5 min. aumentando 4 °C por minuto hasta alcanzar 240 °C (Vieyra-Alberto et al., 2017). Cada pico de ácido graso se identificó a partir de los tiempos de retención de los ésteres metílicos estándar (Supelco 37 Component FAME Mix, ácido trans-vaccénico linoleico y de SIGMA-ALDRICH conjugado) el contenido de ácidos grasos se informa como g/100g de ácidos grasos totales.

El cálculo del índice de aterogenicidad se realizó mediante la ecuación de Ulbricht y Southgate (1991), derivada de los ácidos grasos C12:0, C14:0 y C16:0, la actividad de Δ^9 desaturasa e calculo siguiendo a Kelsey et al. (2003).

7.11. Diseño experimental y análisis estadístico

7.11.1. Variables de producción animal

Los resultados de producción animal y del perfil de ácidos grasos de la leche se analizaron con un diseño Doble Reversible mediante un análisis de varianza siguiendo el modelo propuesto por Kaps and Lamberson, 2004:

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + C_{(i)j} + T_k + P_l + TP_{kl} + e_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = Variable respuesta

μ = Media general

S_i = Efecto debido a la secuencia de tratamiento (1 y 2)

$C_{(i)j}$ = Efecto debido a las vacas dentro de la secuencia de tratamiento ($i=1, 2, 3$ y 4)

T_k = Efecto debido a los tratamientos ($j=CJ$ y KY)

P_l = Efecto de los periodos experimentales ($k=1, 2$ y 3)

TP_{kl} = Efecto de la interacción entre tratamientos y períodos experimentales

e_{ijkl} = Error experimental

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando PROC MIXED de SAS 9.3 (2017) y se declaró significancia si $P \leq 0.05$. La simetría compuesta y la estructura de covarianza no estructurada se utilizaron para las variables de respuesta del forraje y producción animal, respectivamente.

Los valores de condición corporal de las vacas por tratamiento se evaluaron mediante la prueba de Mann-Whitney. El análisis de Kruskal Wallis con respecto a la condición

corporal se realizó para determinar las diferencias entre periodos y se declaró significancia si $P < 0.05$ (Field, 2013)

7.11.2. Variables de producción de forraje

Para las variables de producción de forraje disponibilidad, composición morfológica y altura de las praderas se utilizó un diseño de parcelas divididas recomendado por Stroup *et al.* (1993) para experimentos en finca donde las repeticiones son limitadas.

Los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza siguiendo el modelo propuesto por (Kaps and Lamberson, 2004):

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + P_j + R_k + TP_{ij} + e_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable respuesta

μ = Media general;

T = Efecto de Tratamientos (Parcela Mayor) $i = 1$ y 2

P = Efecto de los periodos experimentales (Parcela Menor) $j = 1, 2$ y 3

TP_{ij} = Efecto de la interacción entre los tratamientos y periodo experimental

e_{ijkl} = Término residual para las Parcelas Menores

Se realizó la prueba de Shapiro Wilk con la finalidad de comprobar la normalidad de todas las variables, siguiendo los procedimientos de Field. (2013). El análisis de varianza y prueba de Tukey se realizaron sobre las variables que se distribuyeron normalmente para identificar diferencias entre el tipo de pasto. Los resultados se analizaron con el programa estadístico Minitab (V14, Minitab Inc., State College, PA, EE. UU).

VIII. RESULTADOS EXPERIMENTO UNO

8.1. Primer artículo enviado y publicado

Se presenta la carta de aceptación, primera página del artículo publicado y el resumen (abstract) de ese primer artículo publicado a la revista indexada Tropical Animal Health and Production La referencia bibliográfica es:

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>. ISSN: 0049-4747 (Print) 1573-7438 (Online)

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

De: em.trop.0.71e83e.58b40d1c@editorialmanager.com <em.trop.0.71e83e.58b40d1c@editorialmanager.com> En nombre de Tropical Animal Health and Production Enviado el: viernes, 12 de marzo de 2021 09:33 a. m.
Para: Carlos Manuel Arriaga Jordan <cmarrigaj@uaemex.mx>
Asunto: Decision on your manuscript #TROP-D-20-01095R2 - [EMID:34abd62d262693a7]

Dear Dr. Arriaga-Jordan:

We are pleased to inform you that your manuscript, "**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**" **has been accepted for publication in Tropical Animal Health and Production.**

You will receive e-mails from Springer in the near future regarding the following items:

1. An email from Author Services with a link to complete the grant of rights.

At this point you can indicate if you wish to publish your article as open access (freely available for anyone worldwide in exchange for payment of an open access charge) or traditionally. Please be very careful in making this selection and note the open access fees incurred.

2. Proofs, which will be finalized and delivered after the publishing agreement has been received through our system.

If you do not hear from Springer within 14 days of this email, please contact the journal.

Please remember to always include your manuscript number, #TROP-D-20-01095R2, whenever inquiring about your manuscript.

Thank you.

Best regards,

The Editorial Office

Tropical Animal Health and Production

Please note that this journal is a Transformative Journal (TJ). Authors may publish their research through the traditional subscription access route or make their paper open access through payment of an article-processing charge (APC). Find out more about Transformative Journals

Our flexible approach during the COVID-19 pandemic

If you need more time at any stage of the peer-review process, please do let us know. While our systems will continue to remind you of the original timelines, we aim to be as flexible as possible during the current pandemic.

This letter contains confidential information, is for your own use, and should not be forwarded to third parties.

Recipients of this email are registered users within the Editorial Manager database for this journal. We will keep your information on file to use in the process of submitting, evaluating and publishing a manuscript. For more information on how we use your personal details please see our privacy policy at <https://www.springernature.com/production-privacy-policy>. If you no longer wish to receive messages from this journal or you have questions regarding database management, please contact the Publication Office at the link below.



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

Dalia Andrea Plata-Reyes¹ · Omar Hernández-Mendo² · Rodolfo Vlayra-Alberto³ · Benito Albarrán-Portillo⁴ · Carlos Galdino Martínez-García¹ · Carlos Manuel Arriaga-Jordán¹

Received: 24 June 2020 / Accepted: 15 March 2021
© The Author(s), under exclusive licence to Springer Nature B.V. 2021

Abstract

The work herein reported closes the evaluation of the role of kikuyu grass in small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. The objective was to compare the productive response of vacas lecheras en pastoreo continuo de kikuyu (*Cenchrus clandestinus*) with a seven frost-resistant tall fescue (*Lolium arundinaceum*) during the winter-spring dry season in dairy systems and determine the fatty acid profile of feeds and milk. An on-farm double cross-over experiment with three periods the 14 days each was undertaken with eight Holstein cows randomly assigned to treatments sequence. Treatments were daytime grazing for 8 h/d of a Cajun II endophyte free tall fescue pasture invaded by kikuyu grass (CJ) or a naturally invaded kikuyu grass pasture (KY), both associated with white clover (*Trifolium repens*) and annual ryegrass (*Lolium multiflorum*). Cows were supplemented in pens with 6.0 kg DM/cow/day with maize silage and 4.6 kg DM/cow/day of commercial concentrate. The fatty acid profiles of feeds and milk were determined by gas chromatography. There were differences ($P<0.05$) for net herbage accumulation and chemical composition between pastures, but not for in vitro digestibility or estimated metabolizable energy. In animal variables, protein content in milk was higher in KY ($P<0.05$). There were significant differences ($P<0.05$) among experimental periods for milk fat content and milk urea nitrogen with the highest values in Period 3. Pasture DM intake was lowest ($P<0.05$) in Period 3. In terms of fatty acid content, there were significant interactions ($P<0.05$) for vaccenic acid (C18:1n11) and linoleic acid (C18:2n6) with the highest values in Period 3. Linolenic acid (C18:3n3) was higher in milk when cows grazed KY and significantly higher ($P<0.05$) in Period 3. It is concluded that kikuyu pastures complemented with maize silage and concentrates in winter-spring perform as tall fescue pastures in the season of herbage scarcity. Milk from cows grazing kikuyu grass pastures complemented with maize silage and concentrates has a higher content of linolenic fatty acid and an atherogenic index favorable for human health.

Keywords Grazing · Subtropical pastures · Winter feeding strategies · Linolenic acid · On-farm experiments · *Cenchrus clandestinus* · *Lolium arundinaceum*

✉ Carlos Manuel Arriaga-Jordán
cmarriga@uaserson.mx

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

² Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, CP 56230 Texcoco, México

³ Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAP), Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Av. Rancho Universitario s/n km 1, CP, 41760 Tulancingo, Hidalgo, México

⁴ Centro Universitario UAEM Tamascahuapotec, Universidad Autónoma del Estado de México, Carretera Toluca-Tejupilco Km 57.5, C.P., 52300 Tamascahuapotec, México

Introduction

The work herein reported closes the evaluation of the role of kikuyu grass in small-scale dairy systems over different seasons in the highlands of Mexico (Plata-Reyes et al. 2018; Marín-Santana et al. 2020). There are not many studies in Mexico for kikuyu grass, which has a strongly seasonal growth pattern (Hernández-Mendo et al. 2000; Rayas-Amor et al. 2012; García et al. 2014). In late spring and the summer rainy season, kikuyu grass grows vigorously with agronomic and animal performances similar with a lower content of saturated fatty acids (SFA) and an atherogenicity index of 1.7 ± 0.3 that represents a milk with beneficial properties for

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

Abstract

The work herein reported closes the evaluation of the role of kikuyu grass in small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. The objective was to compare the productive response of dairy cows in continuous grazing of kikuyu (*Cenchrus clandestinus*) with a sown frost-resistant tall fescue (*Lolium arundinaceum*) during the winter-spring dry season in dairy systems and determine the fatty acid profile of feeds and milk. An on-farm double cross-over experiment with three periods the 14 days each was undertaken with eight Holstein cows randomly assigned to treatments sequence. Treatments were daytime grazing for 8 h/d of a Cajun II endophyte free tall fescue pasture invaded by kikuyu grass (CJ) or a naturally invaded kikuyu grass pasture (KY), both associated with white clover (*Trifolium repens*) and annual ryegrass (*Lolium multiflorum*). Cows were supplemented in pens with 6.0 kg DM/cow/day with maize silage and 4.6 kg DM/cow/day of commercial concentrate. The fatty acid profiles of feeds and milk were determined by gas chromatography. There were differences ($P<0.05$) for net herbage accumulation and chemical composition between pastures, but not for in vitro digestibility or estimated metabolizable energy. In animal variables, protein content in milk was higher in KY ($P<0.05$). There were significant differences ($P<0.05$) among experimental periods for milk fat content and milk urea nitrogen with the highest values in Period 3. Pasture DM intake was lowest ($P<0.05$) in Period 3. In terms of fatty acid content, there were significant interactions ($P<0.05$) for vaccenic acid (C18:1t11) and linoleic acid (C18:2c9c12) with the highest values in Period 3. Linolenic acid (C18:3c9c12c15) was higher in milk when cows grazed KY and significantly higher ($P<0.05$) in Period 3. It is concluded that kikuyu pastures complemented with maize silage and concentrates in winter-spring perform as tall fescue pastures in the season of herbage scarcity. Milk from cows grazing kikuyu grass pastures complemented with maize silage and concentrates has a higher content of linolenic fatty acid and an atherogenic index favorable for human health.

Keywords Grazing, Subtropical pastures, Winter feeding strategies, Linolenic acid, On-farm experiments, *Cenchrus clandestinus*, *Lolium arundinaceum*

IX. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTO DOS

- § ¿Cuál es el efecto de la estación del año sobre el crecimiento del forraje de praderas mixtas invadidas por *Cenchrus clandestinus*?

- § ¿Qué estación del año presenta la mayor limitación para el crecimiento y la disponibilidad del forraje para pastoreo de praderas mixtas invadidas por *Cenchrus clandestinus*?

X. HIPÓTESIS GENERALES EXPERIMENTO DOS

- ⌘ Existe diferencia en la calidad nutricional del forraje de praderas mixtas invadidas por *Cenchrus clandestinum* a lo largo de las estaciones del año en pastoreo continuo intensivo de SPLPE.

- ⌘ Existe diferencia en disponibilidad de forraje de praderas mixtas invadidas por *Cenchrus clandestinum* a lo largo de las estaciones del año en pastoreo continuo intensivo de SPLPE.

XI. OBJETIVOS EXPERIMENTO DOS

11.1. Generales

- § Evaluar a través del método experimental bajo el enfoque de investigación participativa rural el efecto de la estación del año sobre la disponibilidad, producción, calidad nutricional, composición botánica y morfológica del forraje de praderas asociadas con trébol blanco (*Trifolium repens* cv. Ladino) invadidas por kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) a lo largo de las cuatro estaciones del año durante el 2019 y parte del 2020 durante doce periodos experimentales para determinar si existen diferencias entre las gramíneas evaluadas debido a la estación del año con la finalidad de generar información respecto a las posibles limitaciones y manejo para el pastoreo en SPLPE.

11.2. Específicos

- § Comparar las variables de rendimiento y calidad de forraje de cada una de las gramíneas en pastoreo para detectar si existe o no una diferencia entre ellas.
- § Determinar la composición química del forraje de las praderas a partir de muestras procedentes de pastoreo simulado a través de la determinación de la Materia Seca (MS), Materia Orgánica (MO), Proteína Cruda (PC), Fibra Detergente Neutro (FDN), Fibra Detergente Ácido (FDA), Digestibilidad *in vitro* de MO y estimación de la energía metabolizable (EM).
- § Determinar la altura, la acumulación neta de forraje (ANF) y masa herbácea en cada una de las praderas evaluadas para comparar si existen diferencias entre ellas.
- § Determinar composición botánica, densidad de brotes por m² y cobertura vegetal en cada una de las dos praderas.

XII. MATERIALES Y MÉTODOS EXPERIMENTO DOS

12.1. Localización del área de estudio

La evaluación se realizó en el municipio de Aculco localizado entre las coordenadas 20° 00' y 20° 17' Norte y entre 99° 40' y 100° 00' Oeste, con clima subhúmedo y una altitud promedio de 2440 metros sobre el nivel del mar, la época de lluvias comprende desde mediados de mayo hasta octubre con una precipitación pluvial de 700 a 1000mm y una temperatura promedio de 13.5 ° C.

12.2. Desarrollo experimental

El experimento se realizó a través del enfoque de investigación participativa rural para el desarrollo de tecnología ganadera (Conroy, 2005) en las unidades de producción (UP) de dos productores de leche en pequeña durante 336 días divididos en doce periodos experimentales de 28 días cada uno de abril de 2019 a marzo de 2020 (Reeves *et al.*, 1996; Álvarez-García *et al.*, 2020).

12.3. Características de las unidades de producción

El Cuadro 3 presenta las características de las unidades de producción con las que se trabajó, el promedio del hato y sus estrategias de alimentación

Cuadro 3. Características de las unidades de producción experimento dos

Variable	Unidad de producción (UP)		Promedio
	UP1	UP2	
Litros de leche producidos	160	150	155±5
Vacas en ordeña	10	10	10±0
Vacas secas	8	3	5.5±2.5
Litros vendidos	150	150	150±0
Precio de venta por litro de leche	\$6.10	\$6.10	6.10±0
Número de becerros	0	1	1±0.5
Número de becerras	11	8	10±1.5
Número de vaquillas	3	3	3±0
Estrategias de alimentación	Concentrado Ensilado de maíz Avena en corte	Concentrado Ensilado de maíz Alfalfa achicalada	

12.4. Establecimiento de praderas

Se evaluaron dos praderas gramínea-trébol blanco invadidas por kikuyo de las cuales las gramíneas utilizadas fueron (Cuadro 1):

Cuadro 1. Variedades de gramíneas y fecha de cultivo

Identificación	Variedad	Fecha de cultivo
TF	<i>Lolium arundinaceum</i> cv. TF-33	22 de diciembre de 2015
KY	<i>Cenchrus clandestinus</i>	Se establecido naturalmente de forma invasiva en tierra sin labrar

La dosis de siembra en todas las praderas fue de 30 kg/ha de semilla de gramínea y 3 kg/ha de semilla de trébol blanco (*Trifolium repens* cv. Ladino). Para la sobre siembra con rye Grass anual la dosis fue de

El suelo es un suelo con pH ácido, de textura franco arenoso y contenido de materia orgánica baja (Pozo-Leyva *et al.*, 2019)

Las praderas se fertilizaron a la siembra con una dosis de 60-80-60 kg/ha con urea, fosfato diamónico y cloruro de potasio, respetivamente.

Para la evaluación el perímetro de las praderas se ajustó a una hectárea y se delimitó con cerco eléctrico.

12.5. Tratamientos

TF-33 = *Cenchrus clandestinus* + *Lolium arundinaceum* cv. **TF-33** + *Lolium multiflorum* cv. Maximus + *Trifolium repens* cv. Ladino.

KY = *Cenchrus clandestinus* + *Lolium multiflorum* cv. Maximus + *Trifolium repens* cv. Ladino.

12.1. Variables de Producción de forraje experimento dos

La recolección de muestras y registro de datos se realizó el día 28 de cada periodo experimental. Las praderas se dividieron nominalmente en dos, con la finalidad de tener una réplica en cada tratamiento (Carrillo-Hernández *et al.*, 2020).

12.1. 1. Altura de las praderas

Se midió la altura comprimida (cm) del forraje de las praderas con un medidor de plato ascendente registrando 30 mediciones siguiendo un patrón de “W” al final de cada periodo experimental (Hodgson, 1990) con un pastómetro que consiste en un plato de aluminio que 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.

12.1. 2. Acumulación neta de forraje (ANF)

Para estimar la acumulación neta de forraje (ANF) se utilizaron seis jaulas de exclusión al pastoreo (tres en cada réplica) y con un cuadrante de 0.5 x 0.5 m se cortó el forraje al ras del suelo con máquina eléctrica fuera de la jaula (día 1) y dentro de la jaula (día 28) expresando los resultados en kg MS/ha (Hoogendoorn *et al.*, 2016; Reeves *et al.*, 1996).

12.1. 3. Masa herbácea

Como indicador de las condiciones de pastoreo para cada tratamiento durante los periodos experimentales, se utilizó la masa herbácea (kg MS/ha) del día 1, recolectada fuera de las jaulas de exclusión (Álvarez-García *et al.*, 2020; Carrillo-Hernández *et al.*, 2020).

12.1. 4. Composición botánica y morfológica de las praderas

La composición botánica y morfológica se determinó por pradera y periodo mediante la recolección al azar de cinco muestras, delimitando el área de corte con cuadrantes de metal de 0.16 m² (0.40m x 0.40m). Inmediatamente después del corte las muestras se pesaron (50g) utilizando una báscula digital portátil ScoutPro, posteriormente se separaron manualmente diferenciando las proporciones de hoja y tallo de gramínea (kikuyo, festuca o rye grass), leguminosa (trébol blanco), además del material vivo, material muerto y arvenses. Una vez diferenciadas y separadas las muestras se secaron en la estufa de aire forzado a 55°C hasta que alcanzaron peso constante los resultados se expresan en g/100g de MS (Dennis *et al.*, 2015; Elgersma, 2015).

8.1. 5. Cobertura vegetal del suelo

Se evaluó la cobertura vegetal del suelo en cinco sitios al azar a lo largo de las praderas, mediante la observación visual de las especies presentes dentro de un cuadrante de 0.5 x 0.5 m² dividido en una subcuadrícula de 5 x 5 cm, el resultado se expresó en porcentaje (%) considerando la proporción de suelo descubierto, festuca, kikuyo, rye grass, trébol blanco y otras especies, todas las observaciones fueron realizadas siempre por la misma persona (Fenetahun *et al.*, 2020).

12.1. 6. Tallos por metro cuadro

Se realizó la identificación y conteo de macollos enraizados a partir del número total de tallos dentro de 25 núcleos de 5 cm de diámetro y 15 cm de profundidad, recolectados al azar a lo largo de las praderas, que fueron procesados el mismo día en que se recolectaron siempre por la misma persona, dividiendo el material vegetal de acuerdo con los tallos por especie y expresando el resultado (tallos/m²) siguiendo la metodología de Lush and Franz (1991).

12.1. 7. Composición bromatológica

Se determinó la composición bromatológica del forraje de las praderas a partir de muestras de pastoreo simulado de acuerdo con Wayne (1964) en términos de materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC) siguiendo los métodos convencionales de laboratorio (Anaya-Ortega *et al.*, 2009). Las fracciones de Fibra Detergente Neutro (FDN) y Fibra Detergente Ácido (FDA) se determinaron mediante el método de la micro-bolsa con alfa amilasa de acuerdo con A200 Filter Bag Technique, Method 6 and 5, respectivamente (Ankom Technology, 2014a, 2014b).

La digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO) se realizó siguiendo los procedimientos establecidos por Tilley y Terry (1963).

El contenido estimado de energía metabolizable (*eEM*) del forraje de las praderas se calculó a partir de la fórmula de DOMD con la ecuación de AFRC (1993).

13. Diseño experimental y análisis estadístico

13.1. Variables de producción de forraje

Para las variables de producción de forraje disponibilidad, composición morfológica y altura de las praderas se utilizó un diseño de parcelas divididas recomendado por Stroup *et al.* (1993) para experimentos en finca donde las repeticiones son limitadas.

Los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza a partir de un arreglo de parcelas divididas mediante el procedimiento propuesto Kaps and Lamberson (2004) siguiendo el modelo de ANOVA:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + P_j + R_k + TP_{ij} + e_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable respuesta

μ = Media general

T = Efecto de Tratamientos (Parcela Mayor) $i = 1$ y 2

P = Efecto de los periodos experimentales (Parcela Menor) $j = 1 \dots 12$

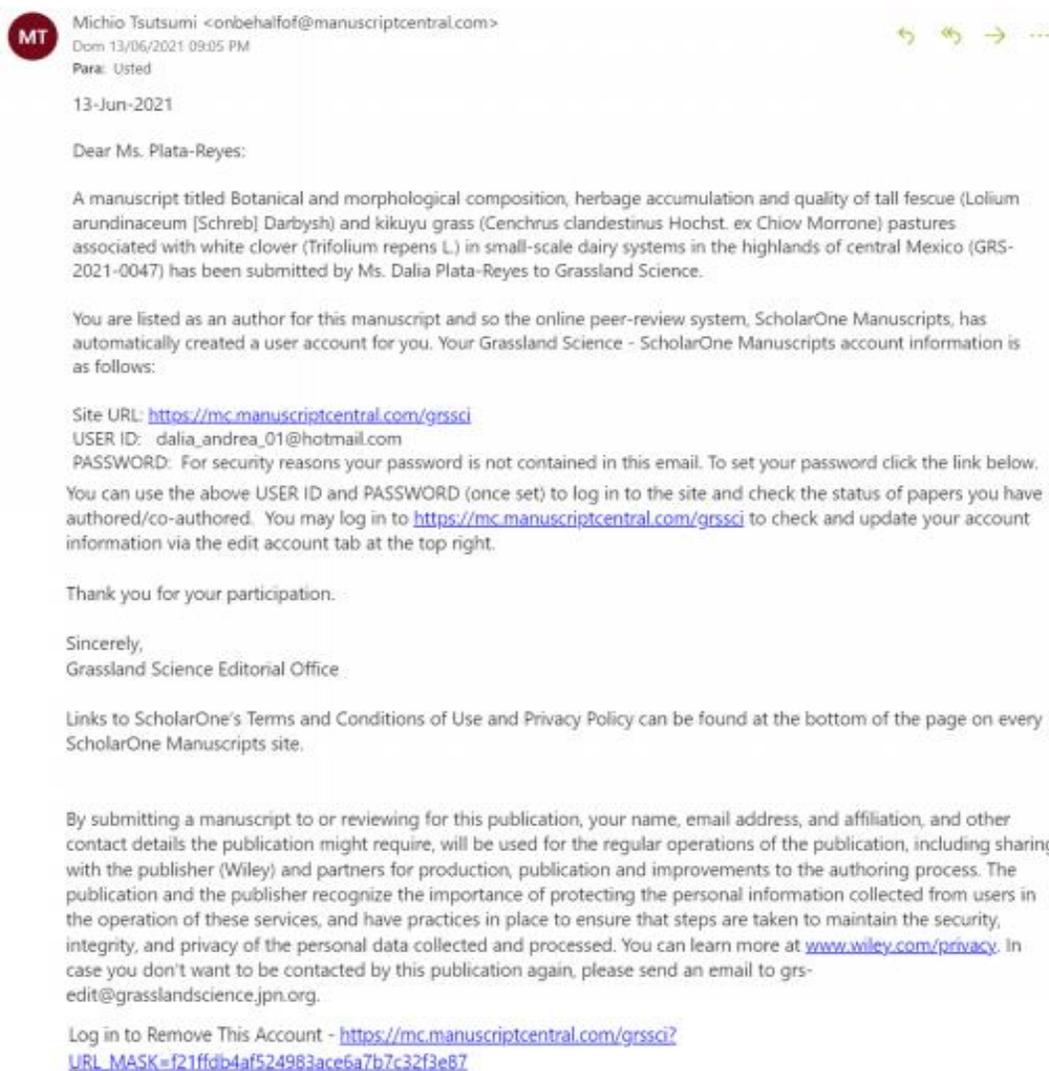
TP_{ij} = Efecto de la interacción entre los tratamiento y periodo experimental

e_{ijkl} = Término residual para la variación del experimento

Se realizó la prueba de Shapiro Wilk con la finalidad de comprobar la normalidad de todas las variables, siguiendo los procedimientos de Field. (2013). El análisis de varianza y prueba de Tukey se realizaron sobre las variables que se distribuyeron normalmente para identificar diferencias entre el tipo de pasto. Los resultados se analizaron con el programa estadístico Minitab (V14, Minitab Inc., State College, PA, EE. UU).

13.2. Segundo artículo enviado

Se presenta la carta de recepción y resumen del segundo artículo enviado a la revista indexada Grassland Science intitulado: Botanical and morphological composition, herbage accumulation and quality of tall fescue (*Lolium arundinaceum* [Schreb] Darbysh) and kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov Morrone) pastures associated with white clover (*Trifolium repens* L.) in small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico, autoría de Dalia Andrea Plata-Reyes, Carlos Galdino Martínez-García, Omar Hernández-Mendo, Carlos Manuel Arriaga-Jordán





Botanical and morphological composition, herbage accumulation and quality of tall fescue (*Lolium arundinaceum* [Schreb] Darbysh) and kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov Morrone) pastures associated with white clover (*Trifolium repens* L.) in small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico

Journal:	Grassland Science
Manuscript ID	Draft
Wiley - Manuscript type:	Original Article
Date Submitted by the Author:	n/a
Complete List of Authors:	Plata-Reyes, Dalia; UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO, INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RURALES (ICAR) Martínez-García, Carlos; UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO, INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RURALES (ICAR) Hernández-Mendo, Omar; Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Programa de Ganadería ARRIAGA-JORDAN, CARLOS; UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO, INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RURALES (ICAR);
Keywords:	Cenchrus clandestinus, Grazing, Lolium arundinaceum, Mixed pastures, Seasonal changes
Abstract:	An on-farm participatory experiment was undertaken to assess changes over seasons on the availability, botanical and morphological composition, and nutritive value of herbage from two pastures in a small-scale dairy system where grazing reduces costs and increases sustainability. One pasture (TF) was originally sown to tall fescue (<i>Lolium arundinaceum</i> [Schreb] Darbysh), while a second one (KY) was invaded by sub-tropical kikuyu grass (<i>Cenchrus clandestinus</i> [Hochst. ex Chiov] Morrone); both pastures are associated with white-clover (<i>Trifolium repens</i> L.) and were oversown in winter with annual ryegrass (<i>Lolium multiflorum</i> L.). Herbage samples were collected every 28 days for an entire year. Variables were compressed sward height, net herbage accumulation, herbage mass, soil cover, tiller density, chemical composition of herbage (dry matter, organic matter, crude protein, neutral detergent fibre, and acid detergent fibre), and nutritional value (in vitro organic matter digestibility, and estimated metabolisable energy). Analysis of variance was as a split-plot design. Pastures were fixed effects and measurement periods were random effects. There were significant interactions ($P < 0.05$) between pastures and periods for sward height, which was greater for kikuyu pasture. There were no differences ($P > 0.05$) for net herbage accumulation for pasture type nor sampling period. TF had a mean of 53% live tissue, 30% dead tissue, and 17%

Botanical and morphological composition, herbage accumulation and quality of tall fescue (*Lolium arundinaceum* [Schreb] Darbysh) and kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov Morrone) pastures associated with white clover (*Trifolium repens* L.) in small- scale dairy systems in the highlands of central Mexico

Abstract

An on-farm participatory experiment was undertaken to assess changes over seasons on the availability, botanical and morphological composition, and nutritive value of herbage from two pastures in a small-scale dairy system where grazing reduces costs and increases sustainability. One pasture (TF) was originally sown to tall fescue (*Lolium arundinaceum* [Schreb] Darbysh), while a 26 second one (KY) was invaded by sub-tropical kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus* [Hochst. ex Chiov] Morrone); both pastures are associated with white-clover (*Trifolium repens* L.) and were oversown in winter with annual ryegrass (*Lolium multiflorum* L.). Herbage samples were collected every days for an entire year. Variables were compressed sward height, net herbage accumulation, herbage mass, soil cover, tiller density, chemical composition of herbage (dry matter, organic matter, crude protein, neutral detergent fibre, and acid detergent fibre), and nutritional value (*in vitro* organic matter digestibility, and estimated metabolizable energy). Analysis of variance was as a split-plot design. Pastures were fixed effects and measurement periods were random effects. There were significant interactions ($P<0.05$) for net herbage accumulation for pasture type nor sampling period. TF had a mean of 53% live tissue, 30% dead tissue, and 17% other plant material, whilst KY had a mean of 50%, 30%, and 18%, respectively. KY showed a higher proportion of leaves than stems. TF had 4% higher soil cover and 5% less of other species compared with KY. There were significant interactions between pasture types and sampling periods except for acid detergent fibre with differences only among sampling periods. It is concluded that the pastures evaluated are complementary; while tall fescue has greater presence, kikuyu grass remains latent in cold weather. Annual ryegrass did not have an important presence and decreased during the experiment.

KEYWORDS *Cenchrus clandestinus*, grazing, *Lolium arundinaceum*, mixed pastures, seasonal changes.

XIV. ESTANCIAS DE INVESTIGACIÓN

14. Constancia de estancia corta de investigación en el Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán

Bajo la tutela de la Dra. Claudia Delgadillo Puga.



INSTITUTO NACIONAL DE
CIENCIAS MÉDICAS
Y NUTRICIÓN
SALVADOR ZUBIRÁN

Ciudad de México a 29 de octubre de 2018

A QUIEN CORRESPONDA
PRESENTE

Por medio de la presente hago constar que durante el periodo comprendido del 15 al 29 de octubre de 2018, la alumna de primer semestre de Doctorado, **Dalia Andrea Plata Reyes** con número de cuenta 1022144 del Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (PCARN) inscrita en el Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) de la Universidad Autónoma del Estado de México, realizó bajo mi tutoría una estancia corta de investigación donde se incorporó a los trabajos de investigación que se realizarán bajo mi asesoría en el Departamento de Nutrición Animal del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán con la finalidad de conocer aspectos teóricos y metodológicos de importancia durante el desarrollo de la futura investigación Doctoral de la alumna. Además, como parte de las actividades realizadas durante su estancia la alumna dio a conocer el trabajo que se desarrolla en el Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) dentro de los Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala (SPLPE).

Sin más por el momento y con el envío un cordial saludo.

ATENTAMENTE

DRA. CLAUDIA DELGADILLO PUGA
INVESTIGADOR EN CIENCIAS MÉDICAS DEL INCMNSZ
DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN ANIMAL



Avenida Vasco de
Quiroga No. 15
Colonia Belisario
Dominguez Sección XVI
Delegación Tlalpan
Código Postal 14080
México, Distrito Federal
Tel. (52) 54870900
www.incmnsz.mx

14.1 Constancia de estancia de investigación en el Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAp) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Bajo la tutela del Dr. Rodolfo Vieyra Alberto y el Dr. Oscar Enrique del Razo Rodríguez.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
Instituto de Ciencias Agropecuarias
School of Forestry and Environmental Studies



Dr. Carlos Manuel Arriaga Jordán
PRESENTE

Por este conducto me permito saludarle y a la vez informarle que la **M. en C.A.R.N. Dalia Andrea Plata Reyes**, realizó una **ESTANCIA DE INVESTIGACIÓN** del 3 al 28 de junio de 2019, en el proyecto "Producción de leche y queso alto en CLA de vacas en pastoreo" bajo la supervisión del Dr. Rodolfo Vieyra Alberto y del Dr. Oscar Enrique del Razo Rodríguez, quienes pertenecen al Grupo de Investigación en Sistemas Pecuarios Sustentables del Área Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Sin más por el momento quedo a sus órdenes para cualquier duda o aclaración, agradeciendo de antemano la atención que sirva prestar a la presente.

ATENTAMENTE
"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"
Tulancingo de Bravo, Hgo; 30 de julio de 2019




Dr. Miguel Ángel Miguez Escorcia
Director de ICAp



Avenida Universidad Km. 1 s/n. Ejecución Aguiztapa,
Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México. C.P. 49600
Teléfono: +52 (771) 71 72000 ext 2461
miguez@uaeh.edu.mx

www.uaeh.edu.mx

14.2. Consideraciones generales

Participar activamente en el desarrollo de los trabajos experimentales de investigación me permitió fortalecer bases teóricas, metodológicas y de investigación que motivan mi aprendizaje y abren otras áreas de estudio como los temas relacionados con la producción y el manejo de forrajes más específicamente.

Para el estudio de las diferentes variables durante el desarrollo de una investigación es indispensable el manejo y control de los posibles efectos causados por el error tanto en la planeación como en la ejecución durante la recolección de información, el procesamiento de las muestras mediante equipos calibrados y métodos precisos, lográndose con la práctica cotidiana y frecuente.

Profundizar en el conocimiento sobre un determinado objeto de estudio otorga la oportunidad de generar nuevas preguntas y proponer nuevas hipótesis para buscar alternativas metodológicas que se puedan adaptar a las condiciones de cada individuo o sistema para garantizar la obtención de resultados de calidad que puedan contribuir con el desarrollo de nuevos trabajos de investigación.

Por lo anterior, considero que la realización de estas estancias de investigación es de suma importancia para nosotros como alumnos en formación tanto en el ámbito académico como en el ámbito personal.

XV. CONCLUSIONES GENERALES

A partir de los resultados obtenidos en el este trabajo de investigación se concluye que Kikuyo gramínea de clima subtropical ha desarrollado la capacidad para permitir su pastoreo durante épocas del año, condiciones agroecológicas y de manejo usuales en los SPLPE con calidad nutricional similar a gramíneas de clima templado con ventajas como los costos de establecimiento debido a la labranza mínima de la tierra donde además con la asociación de trébol blanco dada la capacidad de este último de fijar nitrógeno ambiental se reduce la demanda de fertilizantes nitrogenados.

La inclusión de variedades de clima templado como la festuca, ampliamente distribuida a nivel mundial y caracterizada precisamente por su calidad nutricional y rusticidad en asociación con kikuyo representa una alternativa tendiente a suplir la falta de forraje debido a sus características de resistencia y adaptabilidad al manejo agroecológico.

Mientras que el rye grass anual, no tuvo la capacidad de adaptarse y hacer frente a estas condiciones y su crecimiento se redujo conforme el transcurso de los periodos experimentales, permitiendo un mayor crecimiento y persistencia del trébol blanco.

Por lo que el estudio de rye grass anual, en diferentes momentos a partir de su establecimiento permitiría dilucidar el manejo agroecológico que potencialice su crecimiento y permita expresar sus características.

XVI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALBARRÁN B., GARCÍA A., ESPINOZA A., ESPINOSA E., ARRIAGA, C.M. (2012) Maize silage in the dry season for grazing dairy cows in small-scale production systems in Mexico highlands. *Indian Journal of Animal Research*, **46**, 317-324.
- 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>
- ANAYA-ORTEGA J.P. GARDUÑO-CASTRO G. ESPINOZA-ORTEGA A. ROJO-RUBIO R. AND ARRIAGA-JORDÁN C.M. (2009) Silage from maize (*Zea mays*), annual ryegrass (*Lolium multiflorum*) or their mixture in the dry season feeding of grazing dairy cows in small-scale dairy production systems in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, **41**, 607–616.
- ANDUEZA D., PICAR, F., JESTIN M., AUFRÈRE. (2013) The effect of feeding animals ad libitum vs. at maintenance level on the in vivo digestibility of mown herbage from two permanent grasslands of different botanical composition, *Grass and Forage Science*, **68**, 418-426.
- ANKOM TECHNOLOGY (2005) Procedures (for NDF and ADF). In vitro true digestibility using the DAISY II incubator. Consultado en World Wide Web. <http://www.ankom.com>
- 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>
- ANIMAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL, AFRC. (1993) Energy and Protein Requirements for Ruminants. An advisory manual prepared by the AFRC technical committee on response to nutrients, CAB International, Wallingford, UK, 159.

- AOAC (1990) *Official Method of Analysis. The Association of Official Analytical Chemists*, 15th edn. Arlington, Virginia: Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA
- ARRIAGA-JORDÁN C.M. ALBARRAN-PORTILLO B. GARCÍA-MARTÍNEZ A. and CASTELÁN-ORTEGA O.A. (2002) On-farm comparison of feeding strategies based on forages for small-scale dairy production systems in the highlands of central Mexico. *Experimental Agriculture*, **38**, 375-388.
- BARGO F. E. DELAHOY G. F. SCHROEDER, L. H. BAUMGARD, AND L. D. MULLER. (2006) Supplementing total mixed rations with pasture increase the content of conjugated linoleic acid in milk. *Animal Feed Science Technology*, **131**, 226-240.
- BARRIENTOS-GRAJALES S.M., ECHEVERRI-ZULUAGA J.J., LÓPEZ-HERRERA A., RODRÍGUEZ-OSORIO N. AND BOLÍVAR-VERGARA D.M. (2020) RNA-seq differential gene expression analysis in mammary tissue from lactating dairy cows supplemented with sunflower oil, *Animal Production Science*, **60**, 758–771. <https://doi.org/10.1071/AN19107>
- BAUMAN D. E. AND J. M. GRIINARI. (2001) Regulation and nutritional manipulation of milk fat: low-fat milk syndrome: Review. *Livestock and Production Science*, **70**, 15-29.
- BAUMAN D. E. I. H. MATHER R. J. WALL AND A. L. LOCK. (2006) Major advances associated with the biosynthesis of milk. *Journal of Dairy Science*, **89**, 1235-1243.
- BECERRIL-GIL M.M.N., LÓPEZ-GONZÁLEZ F., ESTRADA-FLORES J.G., ARRIAGA-JORDÁN 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.
- BELL M.J., ECKARD R.J., HARRISON M.T., NEAL J.S., CULLEN B.R. (2013) Effect of warming on the productivity of perennial ryegrass and kikuyu pastures in south-eastern Australia, *Crop and Pasture Science*, **64**, 61–70.

- BERNAL J. AND ESPINOSA J. (2003) Manual de nutrición y fertilización de pastos. Fisiología de los pastos. Publication of the International Plant Nutrition Institute (IPNI), Canada, 49, 12-22p.
- BENVENUTTI M.A., FINDSEN C., SAVIAN J.V., MAYER D, G. AND BARBER D. G. (2020) Short Communication. The effect of stage of regrowth on the physical composition and nutritive value of the various vertical strata of kikuyu (*Cenchrus clandestinus*) pastures. *Tropical Grasslands*, **8**(2),141–146. <https://doi.org/10.17138/tgft.141-146>
- BIRCHAM, J.S. (1981) Herbage growth and utilisation under continuous stocking management, (unpublished Ph.D. thesis, University of Edinburgh).
- BOTHA P.R., MEESKE R. AND SNYMAN H.A. (2009) Kikuyu over-sown with ryegrass and clover: dry matter production, botanical composition and nutritional value, *African Journal of Range and Forage Science*, **25**, 93-101.
- BOUFAÏED H., CHOUINARD P. Y., TREMBLAY G. F., PETIT H. V., MICHAUD R. AND BÉLANGER, G. (2003) Fatty acids in forages. I. Factors affecting concentrations. *Canadian Journal of Animal Science*, **83**, 501- 511.
- BRESCIANO D., DEL PINO A., BORGES A., TEJERA M., SPERANZA, P., ASTIGARRAGA L., PICASSO V. (2019) Perennial C4 grasses increase root biomass and carbon in sown temperate pastures, *New Zeland Journal of Agricultural Research*, **62**, 332-342.
- BUCCIONI A. M. DECANDIA S. MINIERI G. MOLLE AND CABIDDU A. (2012) Lipid metabolism in the rumen: New insights on lipolysis and bio hydrogenation with an emphasis on the role of endogenous plant factors. *Animal Feed Science Technology*, **174**, 1-25.
- BAKER R.D. (1982) Estimating herbage intake from animal performance. In: Leaver JD, editor. *Herbage Intake Handbook*. Maidenhead (UK): (British Grassland Society), 77-93.
- BARBEHENN R.V., CHEN Z., KAROWE D.N. AND SPICKARD, A. (2004) C3 grasses have higher nutritional quality than C4 grasses under ambient and elevated atmospheric CO₂.

Global Change Biology, **10**(9),1565–1575.<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00833.x>

CARRILLO-HERNÁNDEZ S. LÓPEZ-GONZÁLEZ F. ESTRADA-FLORES J. G. AND ARRIAGA- JORDÁN C. M. (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. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-023980>

CASTRO-HERNÁNDEZ H., GONZÁLEZ-MARTÍNEZ F.F., DOMÍNGUEZ-VARA I.A., PINOS-RODRÍGUEZ J.M., MORALES-ALMARAZ E., VIEYRA-ALBERTO R. (2014) Effect of level of concentrate on milk fatty acid profile from grazing Holstein cows, *Agrociencia*, **48**, 765-775.

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. <https://doi.org/10.1007/s11250-016-1063-0>

CHANEY A.L. AND MARBACH E.P. (1962) Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clinical Chemistry*, **8**, 130-132.

CHOUINARD P.Y., CORNEAU L., BARBANO D.M., METZGER L.E. AND BAUMAN D.E. (1999) Conjugated linoleic acids alter milk fatty acid composition and inhibit milk fat secretion in dairy cows, *The Journal of Nutrition*, **129**, 1579-1584. doi:<https://doi.org/10.1093/jn/129.8.1579>.

CHRISTIE W.W. (1982) A simple procedure for rapid transmethylation of glycerolipids and cholesteryl esters, *The Journal of Lipid Research*, **23**,1072-1075.

CHAPMAN D. F., LEE J. M., AND WAGHORN G. C. (2014) Interaction between plant physiology and pasture feeding value: A review. *Crop and Pasture Science*, **65**, 721–734. <https://doi.org/10.1071/CP13379>

- CONROY C. (2005) Participatory Livestock Research, (ITDG Publishing, Bourton-on-Dunsmore, Warwickshire, U.K.)
- CLAFFEY A., DELABY L., BOLAND T.M., AND EGAN M. (2020) Implications of adapting autumn grazing management on spring herbage production-The effect on late lactation milk production and the subsequent response in early lactation animal performance. *Livestock Science*, **231**, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.103870>
- DAIRY RECORDS MANAGEMENT SYSTEMS. (2014) DHI Glossary. <http://www.drms.org/PDF/materials/glossary.pdf>
- DENNIS T.S. UNRUH-SNYDER L.J. NEARY M.K. and NENNICH T.D. (2015) Effects of co-grazing dairy heifers with goats on animal performance, dry matter yield, and pasture forage composition. *Journal Animal Science*, **90**, 4467-4477.
- DIFANTE G., NASCIMENTO, D. N. JR, EUCLIDES V. P. B., DA SILVA S. C., BARBOSA R. A. AND GONÇALVES, W. V. (2009) Sward structure and nutritive value of tanzania guineagrass subjected to rotational stocking managements. *Revista Brasileira De Zootecnia*, **38**, 9–19. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000100002>
- DIERKING R. M. R., KALLENBACH L., KERLEY M. S., ROBERTS C. A., AND LOCK T. R. (2008) Yield and Nutritive Value of ‘Spring Green’ Festulolium and ‘Jesup’ Endophyte-Free Tall Fescue Stockpiled for Winter Pasture, *Crop Science Society of America*, **48**:2463–2469.
- DODD M., DALLEY D., WIMS C., ELLIOTT D. AND GRIFFIN A. (2019) A comparison of temperate pasture species mixtures selected to increase dairy cow production and reduce urinary nitrogen excretion, *New Zealand Journal of Agricultural Research*, **62**, 504-527
- EDMONSON A., LEAN I., WEAVER L., FARVER, T. AND WEBSTER G. (1989) A body condition scoring chart for Holstein dairy cows, *Journal of Dairy Science*, **72**, 68–78.

- ELGERSMA A., TAMMINGA S. AND ELLEN G. (2006) Modifying milk composition through forage, *Animal Feed Science and Technology*, **131**, 207-225. doi:<https://doi.org/10.1002/ejlt.201400469>.
- ELGERSMA A. (2015) Grazing increase the unsaturated fatty acid concentration of milk grass-fed cows: A review of the contributing factors, challenges and future perspectives. *European Journal of Lipid Science and Technology*, **117**, 1345-1369.
- FADUL-PACHECO L., WATTIAUX M.A., ESPINOZA-ORTEGA A., SÁNCHEZ-VERA E. AND ARRIAGA-JORDÁN C.M. (201) Evaluation of sustainability of smallholder dairy production systems in the highlands of Mexico during the rainy season, *Agroecology and Sustainable Food Systems*, **37**, 882–901.
- FENG S. LOCK A. L. AND GARNSWORTHY P. C. (2004) Technical note: A rapid lipid separation method for determining fatty acid composition of milk. *Journal of Dairy Science*, **87**, 3785-3788.
- 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**(2), 159–170. <https://doi.org/10.5814/j.issn.1674-764x.2020.02.004>
- FIELD A. (2013) *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*. 4th ed. SAGE Publications. London, UK.
- FUKASAWA M., KAWAHATA M., HIGASHIYAMA Y., AND KOMATSU T. (2017) Relationship between the stockperson's attitudes and dairy productivity in Japan. *Animal Science Journal*, **88**, 394-400. doi:10.1111/asj.12652
- GARCÍA S. C., ISLAM M. R., CLARK C. E. F. AND MARTIN P. M. (2014) Kikuyu- based pasture for dairy production: A review. *Crop and Pasture Science*, **65**, 787–797. <https://doi.org/10.1071/CP13414>

GONZÁLEZ-ALCÁNTARA F., ESTRADA-FLORES J.G., MORALES-ALMARAZ E., LÓPEZ-GONZÁLEZ F., GÓMEZ-MIRANDA A., VEGA-GARCÍA J.I. AND ARRIAGA-JORDÁN C.M. (2020) Whole-crop triticale silage for dairy cows grazing perennial ryegrass (*Lolium perenne*) or tall fescue (*Lolium arundinaceum*) pastures in small-scale dairy systems during the dry season in the highlands of Mexico, *Tropical Animal Health and Production*, **52** (4), 1903-1910. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02206-9>

GUY C., HENNESY D., GILLILAND T.J., COUGHLAN F., MCCLEAN B., DINEEN M., AND MCCARTHY B. (2020) White clover incorporation at high nitrogen application levels: results from a 3-year study, *Animal Production Science*, **60**, 187-191. <https://doi.org/10.1071/AN18540>

GRANADOS-RIVERA L.D., HERNÁNDEZ-MENDO O., GONZÁLEZ-MUÑOZ S.S., BURGUEÑO-FERREIRA J.A., MENDOZA-MARTÍNEZ G.D., AND ARRIAGA-JORDÁN C.M. (2017) Effect of palmitic acid on the mitigation of milk fat depression syndrome caused by trans-10, cis-12-conjugated linoleic acid in grazing dairy cows, *Archives of Animal Nutrition*, **71**, 428- 440.

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.

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

HERNÁNDEZ-ORTEGA M., HEREDIA-NAVA D., ESPINOZA-ORTEGA A., SÁNCHEZ-VERA E. AND ARRIAGA-JORDÁN C.M. (2011) Effect of silage from ryegrass intercropped with winter or common vetch for grazing dairy cows in small-scale dairy systems in Mexico, *Tropical Animal Health and Production*, **43**, 947-954.

- 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. (1990) *Grazing Management: Science into Practice* (Longman Scientific and Technical, Harlow). 203p.
- HOOGENDOORN C. J., NEWTON P. C. D., DEVANTIER B. P., ROLLE, B. A., THEOBALD, P. W., LLOYD-WEST C.M. (2016) Grazing intensity and micro-topographical effects on some nitrogen and carbon pools and fluxes in sheep-grazed hill country in New Zealand. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **217**, 22–32.
- INEGI-Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007. (<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/tabuladosbasicos/default.aspx?c=17177&s=est>. Consultado mayo 2016).
- JESSOP N.S. AND HERRERO M. (1996) Influence of soluble components on parameter estimation using the *in vitro* gas production technique. *Animal Science*, **62**, 626-627.
- JOUBRAN MOSCOVICI A, M. PIERCE K, GARVEY NIAMH, SHALLOO LAURENCE, AND TOM F. O'CALLAGHAN (2020) Invited review: A 2020 perspective on pasture-based dairy systems and products. *Journal Dairy Science*, 104, 7364-7382. DOI: <https://doi.org/104:7364-7382> <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19776>.
- KAPS M. AND LAMBERSON W. (2004) *Biostatistics for Animal Science*. Trowbridge (UK): Cromwell Press.

- KELLY M.L., KOLVER E.S., BAUMAN D.E., AMBURGH M.E., VANMULLER L.D. (1998) Effect of intake of pasture on concentrations of conjugated linoleic acid in milk of lactating cows, *Journal of Dairy Science*, **81**, 1630–1636.
- KELSEY J.A., CORL B.A., COLLIER R.J., BAUMAN D.E. (2003) The effect of breed, parity, and stage of lactation on conjugated linoleic acid (CLA) in milk fat from dairy cows, *Journal of Dairy Science*, **86**, 2588–2597.
- KOC A., GOKKUS A., TAN M., COMAKLI B., SERIN, Y. (2004) Performance of tall fescue and lucerne-tall fescue mixtures in highlands of Turkey, *New Zealand Journal of Agricultural Research*, **47**, 61-65.
- KOHN R.A., KALSCHEUR K.F., RUSSEK-COHEN E. (2002) Evaluation of Models to Estimate Urinary Nitrogen and Expected Milk Urea Nitrogen, *Journal of Dairy Science*, **85**, 227–233.
- LEE J.M., CLARK, A.J., ROCHE, J.R. (2013) Climate change effects and adaptation options for temperate pasture-based dairy farming systems: a review, *Grass and Forage Science*, **68**, 485-503.
- LUSH W. M., AND FRANZ, P. R. (1991) Estimating Turf Biomass, Tiller Density and Species Composition by Coring, *Agronomy Journal*, **83**, 800-803.
- LÜSCHER A., MUELLER-HARVEY I., SOUSSANA J.F., REES R. M., AND PEYRAUD J.L. (2014) Potential of legume-based grassland–livestock systems in Europe: a review. *Grass and Forage Science*, **69**, 206–228. <https://doi.org/10.1111/gfs.12124>
- MARAIS J.P. (2001). Factors affecting the nutritive value of kikuyu (*Pennisetum clandestinum*): a review, *Tropical Grasslands*, **35**, 65–84.
- 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>.

- MARTÍNEZ-GARCÍA C., RAYAS-AMOR A., ANAYA-ORTEGA J.P., MARTÍNEZ-CASTAÑEDA F.E., ESPINOZA-ORTEGA A., PROSPERO-BERNAL F. y ARRIAGA-JORDAN 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.
- MEARS P.T. (1970) Kikuyo- (*Pennisetum clandestinum*) as a pasture grass- a review. *Tropical Grasslands*, **4**, 139-152.
- MAYNE C.S., WRIGHT I. AND FISHER G.E.J. (2000) Grassland management under grazing and animal response. In: Hopkins, (ed) *Grass: its production and utilization*, Chapter 10, (Oxford, UK, Blackwell Science), 247-291.
- MIGUEL M.F., RIBEIRO-FILHO H.M.N., DE ANDRADE E.A., MORAES GENRO M.T., DELAGARDE R. (2014) Pasture intake and milk production of dairy cows grazing annual ryegrass with or without corn silage supplementation, *Animal Production Science*, **54**, 1810-1816
- MINITAB 14 SOFTWARE ESTADÍSTICO (2010) Versión 14 State College, PA: Minitab, Inc. (www.minitab.com)
- MORALES-ALMARÁZ, E. A. SOLDADO, A. GONZÁLEZ, A. MARTÍNEZ- FERNÁNDEZ, I. A. DOMÍNGUEZ-VARA, B. DE LA ROSA-DELGADO, AND F. VICENTE. (2010) Improving the fatty acid profile of dairy cow milk by combining grazing with feeding of total mixed ration. *Journal of Dairy Research*, **77**, 225-230.
- MORALES-ALMARAZ E., DOMÍNGUEZ-VARA I.A., MEJÍA-URIBE L.A., CRUZ MOTERROSA, R.G., JIMÉNEZ-GUZMÁN J., VIEYRA-ALBERTO R. (2018) Effect of the diet type on the composition of fatty acids in cow milk, *Agroproductividad*, **11**, 21-26.
- MOORE G.A., ALBERTSEN T.O., RAMANKUTTY P., NICHOLS G.H., TITTERINGTON J.W., BARRETT-LENNARD P. (2014) Production and persistence of subtropical grasses in environments with Mediterranean climates, *Crop and Pasture Science*, **65**, 798-816

- MUCIÑO-ÁLVAREZ, M., ALBARRÁN-PORTILLO, B., LÓPEZ-GONZÁLEZ, F. AND ARRIAGA-JORDÁN, C.M. (2021). Multi-species pastures for grazing dairy cows in small-scale Dairy systems in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, **53**, 113. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02564-y>. ISSN: 0049-4747 (Print) 1573-7438 (Online)
- MC CLEMENTS D.J. (1991) Ultrasonic characterization of emulsions and suspensions. *Advances in Colloid and Interface Science*, **37**, 33 -72.
- NANTAPO C.T.W. MUCHENJE V. HUGO A. (2014) Atherogenicity index and health-related fatty acids in different stages of lactation from Friesian, Jersey and Friesian x Jersey cross cow milk under a pasture-based dairy system. *Food Chemistry*, **146**,127-133.
- Nguyen Van C., Nakamura, Y., Kanehara, K. (2019) Membrane lipid polyunsaturation mediated by fatty acid desaturase 2(FAD2) is involved in endoplasmic reticulum stress tolerance in *Arabidopsis thaliana*, *The Plant Journal*, **99**, 478-493.
- PACHECO D., WAGHORN G.C. (2008) Dietary nitrogen – definitions, digestion, excretion and consequences of excess for grazing ruminants, *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, **70**, 107– 116
- PRADO DO R.M., PALIN M.F. PRADO I.N. DOS SANTOS G.T. BENCHAAAR C, PETIT H.V. (2016) Milk yield composition, and hepatic lipid metabolism in transition dairy cows fed flaxseed or línea. *Journal of Dairy Science*, **99**, 1-16.
- PARSONS A.J. Y CHAPMAN D.F. (2000) The principles of pasture growth and utilization. In: Hopkins A. *et al.* (ed) *Grass: Its production and utilization*. pp. 31-89. Oxford, Reino Unido: Blackwell Science.
- PALMQUIST D. L. AND. JENKINS T. C. (2003) Challenges with fast and fatty acid methods. *Journal of Animal Science*, **81**, 3250-3254.
- PINCAY-FIGUEROA P.E., LÓPEZ-GONZÁLEZ F., VELARDE-GUILLÉN J., HEREDIA-NAVA D., MARTÍNEZ-CASTAÑEDA F.E., VICENTE F., MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ

- A. AND ARRIAGA-JORDÁN C.M. (2016) Cut and carry vs. grazing of cultivated pastures in smallscale dairy systems in the central highlands of Mexico. *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, **110**, 349-363. DOI: 10.12895/jaeid.20162.496
- 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
- POLLOTT G.E. (2004) Deconstructing Milk Yield and Composition During Lactation Using Biologically Based Lactation Models, *Journal of Dairy Science*, **87** (8), 2375-2387. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73359-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73359-7).
- POWELL M., WATTIAUX A., BRODERICK G.A. (2011) Short communication: Evaluation of milk urea nitrogen as a management tool to reduce ammonia emissions from dairy farms, *Journal of Dairy Science*, **94**, 4690-4695.
- PRIETO-MANRIQUE E., VARGAS-SÁNCHEZ J., ANGULO-ARIZALA J., MACHECHA-LEDESMA L. (2016) Fat and fatty acids of cow milk grazing in four production systems, *Agronomía Mesoamericana*, **28**, 19-42.
- PROSPERO-BERNAL F., MARTÍNEZ-GARCÍA C.G., OLEA-PÉREZ R., LÓPEZ-GONZÁLEZ F. AND ARRIAGA-JORDÁN CM. (2017) Intensive grazing and maize silage to enhance the sustainability of small-scale dairy systems in the highlands of Mexico, *Tropical Animal Health and Production*, **49**, 1537–1544.
- RIVERO M.J. AND ANRIQUE R. (2015) Milk fat depression syndrome and the particular case of grazing cows: A review. *Acta, Agriculturae Scandinavica. Section A -Animal Science*, **65**, 42-54.

- RUGOHO I., CHENG L., AIZIMU W., BRYANT R.H., EDWARDS G.R. (2016) Effects of post-grazing herbage height and concentrate feeding on milk production and major milk fatty acids of dairy cows in mid-lactation, *Grass and Forage Science*, **72**, 211-219.
- PIRNAJMEDIN F. MAJIDI M. M. AND GHEYSARI M. (2016) Survival and recovery of tall fescue genotypes: association with root characteristics and drought tolerance. *Grass and forage Science*, **71**, 632-640.
- POZO-LEYVA D. LÓPEZ-GONZÁLEZ F. OLEA-PÉREZ R. BALDERAS-HERNÁNDEZ P. AND ARRIAGA-JORDÁN C. M. (2019) Nitrogen utilization efficiency in small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, **51**, 1215-1223. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-01812-6>
- RAYAS-AMOR A. ESTRADA-FLORES J.G. LAWRENCE-MOULD F. AND CASTELÁN-ORTEGA O.A. (2012) Nutritional value of forage species from the Central Highlands Region of Mexico at different stages of maturity. *Ciencia Rural*, **42** (4) 705-712.
- REEVES M. FULKERSON W. J. AND KELLAWAY R. C. (1996) Forage quality of kikuyu (*Pennisetum clandestinum*): the effect of time of defoliation and nitrogen fertiliser application and in comparison, with perennial ryegrass (*Lolium perenne*). *Australian Journal Agricultural Research*, **47**, 1349-1359. <https://doi.org/10.1071/AR9961349>
- RUGOHO I., CHENG L., AIZIMU W., BRYANT R.H. AND EDWARDS G.R. (2016) Effects of post-grazing herbage height and concentrate feeding on milk production and major milk fatty acids of dairy cows in mid-lactation. *Grass and Forage Science*, **72**, 211-219.
- RIVEROS E. AND ARGUMENTARÍA A. (1987) Métodos enzimáticos de predicción de la digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica de forrajes. *Avances en Producción Animal*, **12**, 59-75.
- ROSAS-DÁVILA M. ESTRADA-FLORES J. 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** (5): 778-

783. URL: <http://epubs.icar.org.in/ejournal/index.php/IJAnS/article/view/104631/40933>
ISSN: 0367-8318.

SANDERSON M. A., STOUT R., AND BRINK, G. (2016) Productivity, botanical composition, and nutritive value of commercial pasture mixtures. *Agronomy Journal*, **108** (1), 93-100.
<https://doi.org/10.2134/agronj15.0259>

SAINZ-SÁNCHEZ P.A. LÓPEZ-GONZÁLEZ F. MARTÍNEZ-GARCÍA C. G. ESTRADA-FLORES J. G. AND ARRIAGA-JORDÁN C. M. (2016) Effect of stocking rate and supplementation on performance of dairy cows grazing native grassland in small-scale systems in the highlands of central Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, DOI 10.1007/s11250-016-1178-3

SEGURA-CASTRUITA M.A ORTIZ-SOLORIO C.A. (2017) [Modelling potential monthly evapotranspiration from maximal-minimal temperatures and altitude], *Tecnología y Ciencias del Agua*, **8**, 93-110. Spanish.

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

SUKHIJA P. S. AND PALMQUIST D. L. (1988) Rapid method for determination of total fatty acid content and composition of feedstuffs and feces. *Journal of Agriculture Food Chemical*, **36**, 1202-1206.

SWANEPOEL P. A. HABIG J. DU PREEZ C. C. SNYMAN H.A. BOTHA P. R. (2017) Tillage effects, soil quality and production potential of kikuyu–ryegrass pastures in South Africa, *Grass and Forage Science*, **72**, 308–321.

SCHMITT D., PADILHA D. A., DIAS K. M., SANTOS T. G., RODOLFO G. R., ZANINI G.D., AND SBRISSIA, A. F. (2019) Chemical composition of two warm-season perennial

grasses subjected to proportions of defoliation. *Grassland Science*, 65,171–178.
<https://doi.org/10.1111/grs.12236>

UEDA K., MITANI T., KONDO S. (2016) Effect of timing and type of supplementary grain on herbage intake, nitrogen utilization and milk production in dairy cows grazed on perennial ryegrass pasture from evening to morning: Grain Source and Timing for Grazing Dairy Cows, *Animal Science Journal*, **88**, 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1111/asj.12605>

ULBRICHT T.L.V., SOUTHGATE D.A.T. (1991) Coronary heart disease: seven dietary factors, *The Lancet*, **338**, 985-992.

TEUBER N., PARGA J., BALOCCHI O. AND J. PARGA M. (2007) Manejo del Pastoreo. Imprenta América. Chile,129p.

TILLEY J. M. AND TERRY R. A. (1963) A two-stage technique for *in vitro* digestion of forage crops. *Grass and forage Science*, **18**, 104-111.

TORRES-LEMUS ESTEFANY, MARTÍNEZ-GARCÍA CARLOS GALDINO, PROSPERO-BERNAL FERNANDO, AND ARRIAGA JORDÁN CARLOS MANUEL (2021). On-farm assessment of the sustainability of small-scale dairy systems with three methods based on indicators, *Tropical Animal Health and Production*, **53**, 208. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02658-7>. ISSN: 0049-4747 (Print) 1573-7438 (Online)

ULBRICHT T.L. V. AND SOUTHGATE D.A.T. (1991) Coronary heart disease: seven dietary factors. *The Lancet*, **338**: 985-992.

VIBART E. R., FELLNER V., BURNS C. J., HUNTINGTON G.B. AND GREEN J.T. (2008) Performance of lactating dairy cows fed varying levels of total mixed ration and pasture. *Journal of Dairy Research*, **75**, 471-480.

VIEYRA-ALBERTO R., ARRIAGA-JORDÁN C.M., DOMÍNGUEZ-VARA I. A., BORQUÉZ-GASTELUM J.L. AND MORALES-ALMARÁZ E. (2017) Efecto del aceite de soya sobre

la concentración de los ácidos grasos vaccénico y ruménico en leche de vacas en pastoreo. *Agrociencia*, **51**, 299-313.

VIEYRA-ALBERTO R., DOMÍNGUEZ-VARA I.A., CASTRO-HERNÁNDEZ H., ARRIAGA-JORDÁN C.M., MORALES E. (2018) Pasture access times and milk fatty acid profile of dairy cows from central highland of Mexico, *Journal of Livestock Science*, **9**, 1-8.

VAN SOEST P. J., ROBERTSON J. B., AND LEWIS B. A. (1991) Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, **74**, 3583–3897.

WALLER J.C. (2009) Endophyte effects on cattle. In HA Frigour, DB Hannaway, CP. West (eds.) Tall fescue for the twenty-first century. Chapter 16. Monograph 53, American Society of Agronomy Inc., Crop Science Society of America Inc. and Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin. pp. 289 – 319.

TILLEY J. M. AND TERRY R. A. (1963). A two-stage technique for *in vitro* digestion of forage crops. *Grass and forage Science*, **18**, 104-111.

ZHAO D., MACKOWN C. T., PATRICK J. S., AND BRYAN, K. K. (2008) Interspecies Variation of Forage Nutritive Value and Nonstructural Carbohydrates in Perennial Cool Season Grasses, *Agronomy Journal*, **100** (3), 837-844.
<https://doi.org/10.2134/agronj2007.0178>

ZANINI G. D., SANTOS G. T., SCHMITT D., PADILHA D. A. AND SBRISSIA, A. F. (2012). Distribuição do colmo na estrutura vertical de pastos de capim Aruana e azevém anual submetidos a pastejo intermitente por ovinos, *Ciência Rural*, **42**, 882–887.
<https://doi.org/10.1590/S0103-84782012000500020>

WAYNE C. C. (1964) Symposium on nutrition of forages and pastures: Collecting samples representative of ingested material of grazing animals for nutritional studies. *Jornal Animal Science*, **23**, 265-270

XVII. ANEXOS EXPERIMENTO UNO

17.1. Datos pre-experimentales de las vacas usadas en el experimento Doble Reversible

Grupo	Vaca	PL total	Peso vivo	CC	No. Partos	Días en lactación
Grupo 1	42	12.00	526	2.5	6	180
	3031	14.85	410	2.5	1	60
	5934	10.8	476	2.5	2	160
	5938	19.05	443	2.5	4	30
Grupo 2	1496	14.85	526	2	4	160
	3030	17.05	481	2	1	20
	5936	8.05	554	2.5	2	90
	6661	10.9	434	2.5	2	180

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

17.2. Promedio de variables medidas de producción de forraje por tratamiento y por periodo de Disponibilidad de forraje experimento Doble Reversible

Pradera	Periodo	Altura (cm)	ANF (kg MS/ha)	ANF/día (kg MS/ ha·día)	Masa Herbácea (kg MS/ ha·día)
KY	1	2.10	150.20	10.70	946.20
KY	2	1.80	113.50	8.10	1323.10
KY	3	1.60	650.50	46.5	890.7
CJ	1	1.90	463.40	33.1	564.40
CJ	2	1.90	227.50	16.2	1079.00
CJ	3	1.85	1081.8	77.3	855.80

ANF=Acumulación Neta de Forraje; **CJ**= *Cenchrus clandestinus* + *Lolium arundinaceum* cv. **Cajun II** + *Lolium multiflorum* cv. Maximus + *Trifolium repens*;

KY= *Cenchrus clandestinus*+ *Lolium multiflorum* cv. Maximus+ *Trifolium repens*

17.3. Composición bromatológica (g/kg de MS) y estimación de Energía Metabolizable (MJ) experimento Doble Reversible

Pradera	Periodo	MS	MO	PC	FDN	FDA	DOMD	eEM
KY	1	208.5	886.9	186.5	438.1	209.1	689.8	10.7
KY	2	324.3	888.7	188.0	464.8	216.0	665.6	10.4
KY	3	240.1	887.3	170.6	495.3	234.6	671.1	10.4
CJ	1	285.8	863.3	147.8	522.9	255.2	668.3	10.4
CJ	2	386.3	868.6	146.0	522.6	251.0	657.3	10.2
CJ	3	280.4	879.8	181.0	515.4	245.3	647.7	10.1

MS=Materia Seca; **PC**= Proteína Cruda; **MO**= Materia Orgánica; **FDN**= Fibra Detergente Neutro; **FDA**=Fibra Detergente Ácido; **DOMD**=Digestibilidad *in vitro* de la Materia Orgánica; **eEM**=Energía Metabolizable; **CJ**=*Cenchrus clandestinus* + *Lolium arundinaceum* cv. **Cajun II** + *Lolium multiflorum* cv. Maximus + *Trifolium repens*; **KY**= *Cenchrus clandestinus*+ *Lolium multiflorum* cv. Maximus+ *Trifolium repens*

17.4. Composición bromatológica (g/kg de MS) y estimación de Energía Metabolizable (MJ/kg/MS) de los suplementos alimenticios y kikuyo muerto experimento Doble Reversible

Variable	Ensilado de maíz	Concentrado	KY muerto
MS	299.81 ± 6	916.74 ± 2	618.74 ± 13.3
MO	928.99 ± 0.1	923.97 ± 0.1	923.97 ± 0.7
PC	76.06 ± 12	141.08 ± 3	98.86 ± 5
FDN	589.19 ± 6	266.85 ± 5	623.07 ± 17
FDA	335.25 ± 2	105.75 ± 2	270.93 ± 9
DOMD	521.19 ± 32	700.21 ± 11	512.19 ± 9
eEM	8.11 ± 0.5	10.90 ± 0.2	7.97 ± 0.13
Almidón	599.66 ± 13	315.33 ± 3	
pH (0-14)	3.63 ± 4		

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

17.5. Promedio de las variables medidas de producción animal por tratamiento y por periodo experimento Doble Reversible

Vaca	Secuencia	Pradera	Periodo	Producción de Leche (kg de leche/vaca/día)	Peso Vivo (kg)	Condición Corporal (1-10)
6661	BAB	KY	1	11.23	414.50	2.50
42	ABA	CJ	1	12.28	473.50	2.50
3031	ABA	CJ	1	12.38	403.50	2.50
3030	BAB	KY	1	15.98	442.00	2.50
5934	ABA	CJ	1	11.18	475.00	2.50
5936	BAB	KY	1	8.27	550.00	2.00
1496	BAB	KY	1	14.65	588.00	2.50
5938	ABA	CJ	1	18.38	404.50	2.00
6661	BAB	CJ	2	9.55	414.00	2.50
42	ABA	KY	2	13.00	503.50	2.50
3031	ABA	KY	2	12.60	413.00	2.50
3030	BAB	CJ	2	14.20	435.50	2.50
5934	ABA	KY	2	11.45	471.50	2.50
5936	BAB	CJ	2	8.48	555.00	2.00
1496	BAB	CJ	2	15.68	587.00	2.50
5938	ABA	KY	2	21.08	369.00	2.50
6661	BAB	KY	3	8.17	417.00	2.50
42	ABA	CJ	3	9.73	486.50	2.50
3031	ABA	CJ	3	11.47	389.00	2.50
3030	BAB	KY	3	14.13	423.50	2.25
5934	ABA	CJ	3	10.90	428.50	2.50
5936	BAB	KY	3	6.90	508.00	2.00
1496	BAB	KY	3	16.13	513.00	2.50
5938	ABA	CJ	3	20.70	362.50	2.00

CJ= *Cenchrus clandestinus* + *Lolium arundinaceum* cv. **Cajun II + *Lolium multiflorum* cv. Maximus + *Trifolium repens*; **KY= *Cenchrus clandestinus* + *Lolium multiflorum* cv. Maximus + *Trifolium repens*****

17.6. 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 experimento Doble Reversible

Vaca	Secuencia	Pradera	Periodo	Grasa (g/kg)	FCM (3.5%)	Proteína (g/kg)	Lactosa (g/kg)	NUL (mg/dL)
6661	BAB	KY	1	34.93	11.22	32.80	49.80	6.50
42	ABA	CJ	1	36.93	12.67	30.50	51.97	6.15
3031	ABA	CJ	1	35.00	12.38	31.00	48.17	9.30
3030	BAB	KY	1	36.43	16.35	32.20	48.23	13.92
5934	ABA	CJ	1	34.80	11.15	31.67	48.10	11.39
5936	BAB	KY	1	39.37	8.85	32.83	49.90	8.59
1496	BAB	KY	1	38.00	15.36	31.60	47.60	8.67
5938	ABA	CJ	1	31.43	17.32	28.37	48.10	12.04
6661	BAB	CJ	2	39.83	10.30	29.57	44.30	9.41
42	ABA	KY	2	42.00	14.48	34.00	44.03	5.93
3031	ABA	KY	2	41.53	13.93	27.27	40.77	12.20
3030	BAB	CJ	2	36.60	14.57	29.27	43.80	17.56
5934	ABA	KY	2	36.13	11.66	27.40	41.07	13.43
5936	BAB	CJ	2	42.90	9.57	31.40	46.97	11.39
1496	BAB	CJ	2	31.43	14.78	29.00	41.70	11.96
5938	ABA	KY	2	42.33	23.59	28.00	41.90	14.11
6661	BAB	KY	3	44.27	9.39	33.00	43.70	14.08
42	ABA	CJ	3	45.00	11.31	29.37	43.97	10.87
3031	ABA	CJ	3	40.10	12.41	27.33	40.90	15.65
3030	BAB	KY	3	39.83	15.24	28.17	42.17	16.09
5934	ABA	CJ	3	37.80	11.39	29.00	41.13	13.51
5936	BAB	KY	3	42.00	7.68	33.00	41.87	11.77
1496	BAB	KY	3	33.73	15.80	33.00	41.20	13.02
5938	ABA	CJ	3	40.07	22.40	26.87	40.20	18.72

FCM (3.5%) = Leche Corregida en Grasa; **NUL**= Nitrógeno Ureico en Leche; **CJ**=*Cenchrus clandestinus* + *Lolium arundinaceum* cv. **Cajun II** + *Lolium multiflorum* cv. Maximus + *Trifolium repens*; **KY**=*Cenchrus clandestinus*+ *Lolium multiflorum* cv. Maximus+ *Trifolium repens*

17.7. Consumo de concentrado, ensilado, pradera, total (kg de MS), necesidades totales de energía metabolizable (EM) y aporte de la dieta de EM (MJ EM/día) experimento Doble Reversible

Vaca	Secuencia	Pradera	Periodo	Consumo				Necesidades totales de EM	Aporte de EM a la dieta
				Concentrado	Ensilado	Pradera	Total		
6661	BAB	KY	1	4.58	5.99	2.08	12.66	114.23	120.98
42	ABA	CJ	1	4.58	5.99	2.86	13.44	125.53	128.20
3031	ABA	CJ	1	4.58	5.99	2.00	12.58	109.96	119.32
3030	BAB	KY	1	4.58	5.99	2.92	13.50	129.69	129.93
5934	ABA	CJ	1	4.58	5.99	2.28	12.87	124.05	122.28
5936	BAB	KY	1	4.58	5.99	1.04	11.62	106.32	109.79
1496	BAB	KY	1	4.58	5.99	3.33	13.92	132.50	134.41
5938	ABA	CJ	1	4.58	5.99	3.14	13.72	128.90	131.16
6661	BAB	CJ	2	4.58	5.99	1.55	12.12	102.75	114.66
42	ABA	KY	2	4.58	5.99	3.57	14.15	133.80	135.87
3031	ABA	KY	2	4.58	5.99	1.62	12.20	112.13	115.54
3030	BAB	CJ	2	4.58	5.99	2.51	13.09	123.62	124.70
5934	ABA	KY	2	4.58	5.99	2.60	13.17	120.45	125.70
5936	BAB	CJ	2	4.58	5.99	0.97	11.55	108.63	98.12
1496	BAB	CJ	2	4.58	5.99	5.41	15.99	153.76	154.83
5938	ABA	KY	2	4.58	5.99	4.54	15.12	143.88	146.04
6661	BAB	KY	3	4.58	5.99	1.08	11.66	103.88	109.65
42	ABA	CJ	3	4.58	5.99	1.54	12.12	114.13	113.46
3031	ABA	CJ	3	4.58	5.99	1.40	11.98	100.84	143.57
3030	BAB	KY	3	4.58	5.99	2.40	12.98	121.61	123.16
5934	ABA	CJ	3	4.58	5.99	1.82	12.40	110.64	116.96
5936	BAB	KY	3	4.58	5.99	0.72	12.98	121.61	123.16
1496	BAB	KY	3	4.58	5.99	4.80	15.38	147.42	147.72
5938	ABA	CJ	3	4.58	5.99	3.64	14.22	142.22	135.33

CJ=*Cenchrus clandestinus* + *Lolium arundinaceum* cv. **Cajun II** + *Lolium multiflorum* cv. Maximus + *Trifolium repens*; **KY**=*Cenchrus clandestinus*+ *Lolium multiflorum* cv. Maximus+ *Trifolium repens*

XVIII. ANEXOS EXPERIMENTO DOS

18. Promedio de la composición bromatológica (g/kg de MS) y estimación de Energía

Metabolizable (MJ/kg/MS) de las praderas

PRADERA	PERIODO	MS	MO	PC	FDN	FDA	DOMD	EM
KY	1	233.3	908.7	224.0	440.1	196.9	703.6	11.0
TF	1	292.8	900.8	218.8	498.5	210.6	664.9	10.4
KY	2	283.7	896.6	207.7	472.6	207.3	683.5	10.6
TF	2	284.8	910.3	155.6	514.3	214.7	678.4	10.6
KY	3	288.7	883.2	168.1	479.1	215.3	663.5	10.3
TF	3	243.3	896.9	180.1	412.7	204.4	707.3	11.0
KY	4	189.2	896.8	185.6	459.2	343.4	728.2	11.3
TF	4	149.3	893.8	218.6	527.1	381.3	735.4	11.4
KY	5	179.9	886.1	192.6	481.4	348.0	708.4	11.0
TF	5	197.2	898.3	196.1	479.1	357.4	681.1	10.6
KY	6	242.2	904.0	176.7	497.6	370.5	679.8	10.6
TF	6	238.4	903.2	189.0	545.5	406.8	669.1	10.4
KY	7	236.7	913.5	152.2	529.9	409.0	664.0	10.3
TF	7	223.0	890.4	152.3	553.7	401.7	637.9	9.9
KY	8	276.2	911.9	152.3	589.6	238.6	574.1	8.9
TF	8	250.6	899.9	166.2	569.6	235.7	629.0	9.8
KY	9	272.4	898.2	140.0	618.2	265.1	622.0	9.7
TF	9	252.2	880.6	164.6	594.2	246.5	619.7	9.6
KY	10	335.6	900.6	115.5	644.9	257.7	560.1	8.7
TF	10	326.1	890.5	133.0	568.9	238.7	662.2	10.3
KY	11	264.0	893.8	115.5	639.6	221.8	528.2	8.2
TF	11	312.0	880.2	189.1	518.2	215.1	662.2	10.3
KY	12	349.1	909.7	122.6	629.6	281.2	563.5	8.8
TF	12	256.7	887.8	189.1	607.7	281.0	676.0	10.5

KY=*Cenchrus clandestinus*+ *Lolium multiflorum* cv. Maximus + *Trifolium repens* cv. Ladino; **TF-33**=*Cenchrus clandestinus* + *Loilum arundinaceum* cv. TF-33 + *Lolium multiflorum* cv. Maximus + *Trifolium repens* cv. Ladino