



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

**“EVALUACIÓN DE CUATRO GRAMÍNEAS PARA EL PASTOREO DE
VACAS LECHERAS EN TERCER TERCIO DE LACTACIÓN EN
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EN PEQUEÑA ESCALA DEL NOROESTE
DEL ESTADO DE MÉXICO”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA

P R E S E N T A:

CLAUDIA LETICIA VALDEZ RUIZ

ASESORES:

Dr. CARLOS MANUEL ARRIAGA JORDÁN
Dr. FELIPE LÓPEZ GONZÁLEZ
Mtra. en C. DALIA ANDREA PLATA REYES

REVISORES.

Dr. ERNESTO MORALES ALMARÁZ
Dra. ALEJANDRA DONAJÍ SOLÍS MÉNDEZ

Toluca, México Junio de 2018



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UAEMéx. y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por su labor y por apoyar los proyectos de investigación.

Al Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) de la UAEMéx., por sus espacios destinados a la realización del trabajo de investigación y a sus T.L. María de Lourdes Maya Salazar y Laura Edith Contreras Martínez por su colaboración y apoyo a la realización de los análisis de laboratorio.


A los productores participantes, Don Armando González Mejía, Don Hernán González Mejía y a sus familias por su disposición, colaboración y hospitalidad, gracias a ellos fue posible realizar el trabajo de campo en sus unidades de producción.


A mis asesores, Dr. Carlos Manuel Arriaga Jordán, Dr. Felipe López González y Mtra. Dalia Andrea Plata Reyes por darme la oportunidad de ser parte de su equipo de investigación y de permitirme colaborar en su proyecto de investigación, por su tiempo dedicado con su asesoría y orientación.


A los revisores de este trabajo Dr. Ernesto Morales Almaráz y Dra. Alejandra Donají Solís Méndez por su tiempo y disponibilidad, y por sus correcciones, recomendaciones y comentarios.

A mis compañeros del ICAR de la UAEMéx., que forman parte del Equipo de Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala por toda su ayuda y colaboración brindada durante la realización de este trabajo de investigación.

DEDICATORIAS

 *A mi madre Mercedes y mi padre Arturo, porque gracias a ellos he logrado mis metas y objetivos, por ser ejemplo siempre en mi camino, y por darme en todo momento lo que está en sus manos para crecer.*

 *A mi hermano Raúl, por sus consejos, paciencia y apoyo, y por ser una guía para mí.*

 *A mi familia quien me ha apoyado, a mis amigos y a todas aquellas personas que he conocido, quienes han formado parte de mi vida para impulsarme y darme motivación.*

RESUMEN

Se evaluó el pastoreo de tres gramíneas de clima templado: *Festulolium* cv. Spring Green, Alta Fescue (*Festuca arundinacea*) cv. TF-33, Ryegrass perenne (*Lolium perenne*) cv. Pay-Day y una gramínea de clima tropical: Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) como base en la alimentación de cuatro vacas lecheras en el tercer tercio de lactación en el municipio de Aculco, Estado de México. Las vacas se distribuyeron en un cuadro latino 4X4 durante cuatro periodos experimentales de 14 días cada uno y en corral fueron suplementadas con 4.65 kg de MS de concentrado comercial con 20% de proteína cruda y se evaluó el pastoreo continuo intensivo (8 horas al día). Las variables de producción animal que se midieron fueron la condición corporal (CC), el peso vivo (PV), el rendimiento de leche (RL) y la composición fisicoquímica de la leche (grasa, proteína, lactosa y pH), además del nitrógeno ureico en leche (NUL). Las variables evaluadas de producción de forraje fueron la composición botánica, la altura de pradera, la acumulación neta de forraje (ANF) y calidad nutricional en términos de materia seca (MS), proteína cruda (PC), materia orgánica (MO), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO) y se estimó la energía metabolizable (eEM). No se detectaron diferencias estadísticamente significativas ($p>0.05$) para las variables de producción animal. Se detectaron diferencias estadísticamente significativas ($p<0.05$) para la altura de pradera a favor de *Festulolium*, así como para la calidad nutricional del forraje: MS, PC, MO, FDN, FDA, DIVMO y eEM. Se concluye que el pastoreo continuo intensivo de gramíneas de clima templado y clima tropical es una buena opción para la alimentación de vacas lecheras en sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE).

Palabras clave: *Festulolium*, *Festuca*, Ryegrass, Kikuyo, praderas, vacas, alimentación.

ÍNDICE

| | |
|--|------|
| AGRADECIMIENTOS..... | ii |
| DEDICATORIAS..... | iii |
| RESUMEN..... | iv |
| INDICE DE CUADROS, FIGURAS Y GRÁFICAS | viii |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 3 |
| 2.1. Producción de leche en México..... | 3 |
| 2.2. Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala (SPLPE) en México | 3 |
| 2.3. Alimentación de vacas lecheras en pastoreo en sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE)..... | 4 |
| 2.4. Lactación | 6 |
| 2.5. Gramíneas utilizadas para pastoreo..... | 7 |
| 2.5.1. <i>Festulolium</i> cv. Spring Green | 7 |
| 2.5.2. Alta Fescue (<i>Festuca arundinacea</i>) cv. TF-33..... | 7 |
| 2.5.3. Kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>) | 8 |
| 2.5.4. Ryegrass perenne (<i>Lolium perenne</i>) cv. Pay-Day..... | 9 |
| III. JUSTIFICACIÓN..... | 10 |
| IV. HIPÓTESIS | 11 |
| V. OBJETIVOS | 12 |
| 5.1. Objetivo general | 12 |
| 5.2. Objetivos específicos..... | 12 |
| VI. MATERIAL | 13 |

| | |
|--|----|
| 6.1. Material biológico..... | 13 |
| 6.2. Material no biológico..... | 13 |
| 6.3. Material de campo..... | 13 |
| 6.4. Material de laboratorio..... | 14 |
| 6.5. Material de gabinete..... | 14 |
| VII. MÉTODO..... | 15 |
| 7.1. Tratamientos..... | 15 |
| 7.2. Manejo..... | 16 |
| 7.3. Diseño experimental y análisis estadístico..... | 16 |
| 7.4. Variables evaluadas..... | 19 |
| 7.4.1. Producción animal..... | 19 |
| 7.4.2. Forraje..... | 20 |
| VIII. LÍMITE DE ESPACIO..... | 24 |
| IX. LÍMITE DE TIEMPO..... | 26 |
| X. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 27 |
| 10.1. Desempeño animal..... | 27 |
| 10.2. Composición fisicoquímica de la leche y nitrógeno ureico en leche (NUL)..... | 32 |
| 10.2.1. Contenido de grasa, proteína y lactosa..... | 33 |
| 10.2.2. pH de la leche..... | 34 |
| 10.2.3. Nitrógeno ureico en leche (NUL)..... | 34 |
| 10.3. Forraje..... | 36 |
| 10.3.1. Composición botánica..... | 36 |
| 10.3.2. Altura de pradera y acumulación neta de forraje (ANF)..... | 38 |

| | |
|--|----|
| 10.3.2.1. Altura de pradera..... | 38 |
| 10.3.2.2. Acumulación neta de forraje (ANF) | 39 |
| 10.3.3. Composición de forraje, determinación de digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia orgánica (DIVMO) y estimación de la energía metabolizable (eEM) .. | 40 |
| 10.3.3.1. Materia seca (MS) | 42 |
| 10.3.3.2. Proteína cruda (PC) | 42 |
| 10.3.3.3. Materia orgánica (MO)..... | 43 |
| 10.3.3.4. Fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) | 43 |
| 10.3.3.5. Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia orgánica (DIVMO) | 45 |
| 10.3.3.6. Estimación de energía metabolizable (eEM) | 46 |
| 10.4. Concentrado | 47 |
| XI. CONCLUSIONES..... | 48 |
| XII. LITERATURA CITADA | 50 |

INDICE DE CUADROS, FIGURAS Y GRÁFICAS

CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1. Tratamientos | 15 |
| Cuadro 2. Esquema del diseño experimental | 17 |
| Cuadro 3. Fechas de los periodos establecidos | 26 |
| Cuadro 4. Condición corporal, peso vivo y rendimiento de leche | 27 |
| Cuadro 5. Composición fisicoquímica de la leche: grasa, proteína, lactosa y pH; y nitrógeno ureico en leche (NUL) | 32 |
| Cuadro 6. Altura de pradera y acumulación neta de forraje (ANF) | 38 |
| Cuadro 7. Composición de forraje (g/kg MS), determinación de digestibilidad in vitro de la materia orgánica (g/kg MS) y estimación de energía metabolizable (MJ/kg MS) | 40 |

FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Ubicación geográfica de Aculco, estado de México (INAFED, 2017). | 24 |
|---|----|

GRÁFICAS

| | |
|---|----|
| Gráfica 1. Efecto del periodo experimental sobre la producción de leche de vacas en tercer tercio de lactación en pastoreo continuo intensivo | 29 |
| Gráfica 2. Efecto del periodo experimental sobre el peso vivo de vacas en tercer tercio de lactación en pastoreo continuo intensivo | 30 |
| Gráfica 3. Efecto del periodo experimental sobre la condición corporal de vacas en tercer tercio de lactación en pastoreo continuo intensivo | 31 |
| Gráfica 4. Porcentaje de gramínea y leguminosa en las praderas | 36 |
| Gráfica 5. Porcentaje de materia viva y materia muerta en las praderas | 37 |

I. INTRODUCCIÓN

La FAO estima que del 80 al 90% de la producción lechera de los países en desarrollo se produce en sistemas agrícolas en pequeña escala, los cuales se basan en un nivel bajo de insumos.

En México existen diferentes sistemas de producción de leche, de los cuales el que se pretende estudiar en este trabajo es el sistema de producción de leche en pequeña escala (SPLPE). Este sistema de producción ha sido estudiado desde varios enfoques, viéndolo como una fuente de ingresos importante para los pequeños productores del país además de que permite el crecimiento económico para estos mismos, también se ha visto desde el punto de vista de la sustentabilidad.

En estos sistemas de producción se promueve el pastoreo, el cual se ha estado implementando como una alternativa para reducir los costos de alimentación en las unidades de producción de leche en pequeña escala del municipio de Aculco (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007; Pincay-Figueroa *et al.*, 2016)

El principal rubro para reducir los costos totales de producción se centra en la reducción de los costos de la alimentación, ya que, al reducir la demanda de insumos externos como la compra de concentrados balanceados comerciales, pajas, forrajes frescos o conservados, el pastoreo representa una opción para optimizar los recursos propios de las unidades de producción (fuerza, trabajo y capital) disminuyendo significativamente dicha dependencia de insumos externos. Además, debido a que en pastoreo los animales cosechan su propio alimento se disminuyen también los costos de corte y acarreo de forrajes, una de las estrategias de alimentación convencionales de las unidades de producción de Aculco (Pincay-Figueroa *et al.*, 2013).

En varios estudios se ha demostrado el efecto positivo del pastoreo sobre la sustentabilidad económica de los sistemas de producción en pequeña escala, por lo que es un modelo que cada vez más productores adoptan. El Estado de México cuenta con distintas variedades de gramíneas disponibles para la alimentación de vacas lecheras.

Este trabajo de tesis propone evaluar cuatro variedades de gramíneas bajo pastoreo continuo intensivo de vacas lecheras en tercer tercio de lactación en sistemas de producción de leche en pequeña escala.

Tres de estas gramíneas son de clima templado, las cuales son *Festulolium*, *Lolium perenne* (Ryegrass Perenne) y *Festuca arundinacea* (Alta Fescue); y otra es una gramínea de clima subtropical, el *Pennisetum clandestinum* (pasto Kikuyo).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Producción de leche en México

La FAO señala que, en la mayoría de los países en desarrollo, la leche es producida por pequeños agricultores, localizados de manera muy dispersa en las zonas rurales mientras que la mayoría de los mercados se encuentran distribuidos en las zonas urbanas. Se ha reportado que la producción de leche contribuye a la seguridad alimentaria, la nutrición de los hogares y es un medio para superar la pobreza en las comunidades rurales, además de disminuir la migración. En México se han realizado diversos estudios al respecto (Arriaga- Jordán *et al.*, 2002; Espinoza-Ortega *et al.*, 2007).

Para el año 2015 se reportó una producción de once mil cuatrocientos millones de litros y según los registros mensuales que se reportan, el pico más alto de producción se da en el mes de julio, en la temporada de lluvias de verano. Aunque el Estado de México no es uno de los grandes productores de leche en el país, contribuye en gran medida en la producción nacional, pues ocupa el séptimo lugar entre las entidades productoras de leche registrando en el 2015 una producción anual total de cuatrocientos cincuenta y cinco mil doscientos ochenta y tres litros con un precio para el 2016 de 5.94 pesos/litro en promedio, precisamente, en el año 2015, México ocupó el noveno lugar en producción de leche de vaca a nivel mundial (SIAP, 2015; SIAP, 2016).

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

La producción de leche en pequeña escala incrementa el ingreso familiar. De esta forma, este sistema puede ser un instrumento viable para estimular el crecimiento económico y reducir la pobreza (Bennett *et al.*, 2016).

En el Altiplano Central de México, la producción de leche en pequeña escala ha sido un camino económicamente factible, el cual genera ingresos, empleos y fortalece la seguridad alimentaria dentro de las comunidades (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007).

2.3. Alimentación de vacas lecheras en pastoreo en sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE)

Existen ciertas estrategias de alimentación implementadas en los sistemas de producción de leche en pequeña escala como lo es el pastoreo, estas estrategias son diferentes a las que tradicionalmente se han realizado como lo es el corte y acarreo del forraje de praderas cultivadas, así el pastoreo como estrategia de alimentación permite una producción eficiente de leche a bajo costo, hay un incremento en el rendimiento de leche y un costo de alimentación 16% menor en comparación con el sistema tradicional de corte y acarreo, los sistemas basados en el pastoreo presentan menores costos de producción que los sistemas de alimentación en estabulación, lo que permite una viabilidad económica. Las estrategias de alimentación basadas en forrajes influyen en gran medida en los ingresos obtenidos, además de que permiten incrementar la producción (Pincay-Figueroa *et al.*, 2013).

La estacionalidad es la principal razón por la que el pastoreo se limita a las épocas favorables para el crecimiento de las praderas, existiendo restricción en la disponibilidad de pasturas en el periodo restante del año (Álvarez-Almora *et al.*, 2008). En el Altiplano Central de México, se requiere acceso de agua de riego para considerar establecer praderas cultivadas para pastoreo disponibles durante todo el año.

Por otro lado, se toma en cuenta la época del año para valorar la composición nutricional del forraje debido a que ésta varía en función de una época del año a otra. Cuando hay un déficit hídrico se produce un deterioro de la calidad que coincide con la emergencia de espiga en los pastos, y esto se traduce en una baja

disminución en el contenido de proteína y aumento de fibra, lo cual hace necesario contemplar una suplementación. El aporte nutritivo de las praderas también depende de la cantidad de forraje disponible por animal. Si esta aumenta, los animales son más selectivos y consumen un forraje más proteico y energético, pero con menos fibra. Del mismo modo, el contenido de nutrientes se ve afectado por la proporción de material vegetal muerto, que puede alcanzar proporciones altas en verano y otoño, de hasta 50% de la materia seca total. La mayor acumulación se produce en praderas manejadas con cargas bajas y sin cortes de limpieza luego de la espigadura (Anrique *et al.*, 2014).

La producción de leche en pastoreo se caracteriza por su flexibilidad y menores costos tanto de operación como de inversión y esto se ve reflejado en la alta productividad por unidad de superficie, mano de obra y capital invertido (Pincay-Figueroa *et al.*, 2013).

El conocimiento de la respuesta de las plantas forrajeras al pastoreo, permite establecer planes de manejo adecuados, porque el rendimiento de forraje y su valor nutritivo están condicionados a la velocidad de crecimiento y recuperación, después del corte o pastoreo, los cuales están regulados por factores interrelacionados entre sí, entre los que destacan la carga animal, fertilidad y humedad del suelo, temperatura ambiente, asignación de forraje, y especie animal en pastoreo, entre otros (Hernández-Mendo *et.al.*, 2000).

En estos sistemas, la producción es dependiente en gran medida del consumo de pradera y de la calidad del forraje disponible, así como de la carga animal y la productividad individual de las vacas. Una limitante de la pradera es la marcada estacionalidad de su producción, lo que genera períodos muy marcados de excedente y de déficit en distintas épocas del año. El crecimiento de la pradera en los meses favorables de primavera es 7 a 10 veces mayor que en los meses invernales. El verano corresponde al período de mayor variabilidad por su gran

dependencia de la pluviometría. Cuando el verano es seco, el crecimiento de la pradera puede ser incluso inferior al invernal. Estos cambios reducen la concentración de nutrientes en el forraje producido, desde valores máximos en los estados vegetativos inmaduros, hasta valores mínimos en las plantas maduras dominadas por tallos. El incremento progresivo de los tallos aumenta el contenido de paredes celulares (fibra) y su lignificación, disminuyendo la proporción de contenido digestible (aprovechables) en el forraje. La pérdida de valor nutritivo se manifiesta como una baja en la digestibilidad de la materia seca. La velocidad con que baja el valor nutritivo está determinada por la precocidad de floración (emergencia de espigas) de cada variedad (Pulido-Fuenzalida *et al.*, 2011).

2.4. Lactación

La producción de leche a través de la lactancia va formando una curva característica que varía dependiendo de varios factores. En los primeros 4 meses la vaca produce la mayor parte de leche que producirá en toda su lactancia. Del quinto al noveno mes de lactancia, la producción va declinando (Cavazos, 2013).

Con respecto al consumo voluntario, este es bajo al momento del parto y aumenta aproximadamente en el cuarto mes de lactancia, 30 a 60 días después del pico de producción de leche. La capacidad de consumo permanece alta hasta el quinto o sexto mes de lactancia y luego comienza a decrecer gradualmente junto con el descenso de la producción de leche. La disminución del consumo se vuelve más evidente en el transcurso de los últimos tres meses de gestación. Las vacas en lactancia pueden comer hasta un 50% más de materia seca diariamente que vacas secas en condiciones de pastoreo, por lo que el consumo de pradera se relaciona directamente con el nivel de producción de leche. La condición corporal de los animales refleja su nivel de reservas energéticas, constituidas principalmente por lípidos almacenados en el tejido adiposo. En la vaca lechera, el estado de lactancia afecta la respuesta en producción de leche, debido a los cambios que ocurren en el

destino de la energía consumida (a leche o tejido corporal) durante este estado fisiológico de alta demanda. Con el avance de la lactancia se destina más energía hacia condición corporal, para la preparación del parto y próxima lactación (Pulido-Fuenzalida *et al.*, 2011).

2.5. Gramíneas utilizadas para pastoreo

2.5.1. *Festulolium* cv. Spring Green

El *Festulolium* es un híbrido que se creó al cruzar varias especies del género *Festuca* con especies del género *Lolium* con el objetivo principal de combinar la calidad de *Lolium* con la mayor rusticidad, resistencia a climas fríos y tolerancia a déficit hídrico de *Festuca*. El *Festulolium* es un híbrido de varios tipos de fescue (o festucas) y ryegrasses (Olson *et al.*, 2014). Según Díaz *et al.* (2004) se espera que la disponibilidad de genotipos de especies forrajeras aumente, debido al desarrollo de la biotecnología. La variedad Spring Green es un híbrido de *Lolium multiflorum* x *Lolium perenne* con *Festuca pratense*.

Las especies de *Lolium* no son suficientemente resistentes para los retos medioambientales que enfrenta la agricultura extensiva en las zonas geográficas menos favorecidas, es por eso por lo que se han desarrollado estos híbridos (Thomas *et al.*, 2003).

2.5.2. Alta Fescue (*Festuca arundinacea*) cv. TF-33

La Alta fescue (*Festuca arundinacea*) es una gramínea perenne que se adapta muy bien a suelos de baja aptitud agrícola. No obstante, esta especie rústica de excelentes características productivas disminuye drásticamente su calidad nutritiva en primavera avanzada y verano (Insua *et al.*, 2013). Tiene alta resistencia a la sequía y se adapta bien a climas fríos, tiene buena adaptabilidad a diferentes climas y tipos de suelo (Ali-Alizadeh y Ashraf-Jafari, 2016). En un estudio realizado por

Ortega *et al.* (2013) se demostró en distintos cultivos de festuca, que hubo una buena persistencia productiva, alto rendimiento de forraje y una alta tasa de crecimiento en el periodo de verano.

La Festuca alta (*Festuca arundinacea*) es de crecimiento otoño-inverno-primaveral, es resistente al frío, adaptada a suelos levemente alcalinos y moderadamente ácidos; resistentes a sequía y que produce forraje de buena digestibilidad. También la caracterizan su rusticidad, resistencia al pisoteo y la persistencia (Mozzoni, 2007).

2.5.3. Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*)

El pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) es una gramínea subtropical que se caracteriza por su alto contenido de proteína cruda (PC) y bajo contenido de carbohidratos no estructurales (CNE). La edad de corte o pastoreo es un factor que puede afectar la composición química de los forrajes pero que en el caso particular del Kikuyo parece tener un menor impacto debido a su hábito de crecimiento. El Kikuyo es una gramínea que forma estolones sobre la superficie del suelo con entrenudos cortos a partir de los cuales surgen raíces que fijan los estolones al suelo, de tal manera que lo que queda al acceso de los animales son principalmente hojas. Por tal razón, esta gramínea se caracteriza por tener una alta relación hoja-tallo que impide que su composición química se modifique tan marcadamente como sucede en otras gramíneas (Soto *et al.*, 2005). En cuanto a la producción de forraje, en el caso del Kikuyo, el cual es marcadamente estacional, restringe su disponibilidad a un corto periodo del año, principalmente durante la estación lluviosa, aunque su costo de producción es bajo, por lo que especies nativas o naturalizadas como el Kikuyo representan una alternativa viable (Álvarez-Almora, 2008).

2.5.4. Ryegrass perenne (*Lolium perenne*) cv. Pay-Day

El Ryegrass perenne es un forraje de alta calidad, de clima templado, altamente palatable. Tiene características similares de crecimiento a la Alta Fescue. Es menos persistente que otras especies de pastos de clima templado (Olson *et al.*, 2014). Es considerado como la mejor opción forrajera por sus altos rendimientos, calidad nutritiva y habilidad para crecer en gran diversidad de suelos. Es una gramínea ideal para praderas de pastoreo, tiene buena digestibilidad y palatabilidad; de rebrote rápido con resistencia al pisoteo. Tiene buena asociación con leguminosas, usualmente el trébol blanco y tolera periodos largos de humedad (Florián-Lescano, 2009).

III. JUSTIFICACIÓN

El pastoreo como estrategia de alimentación dentro de los sistemas de producción de leche en pequeña escala disminuye los costos de alimentación lo cual puede contribuir a mejorar la sustentabilidad económica. Una opción viable es utilizar praderas bajo pastoreo continuo intensivo y la suplementación con cantidades moderadas de concentrado.

Las especies forrajeras mejoradas utilizadas actualmente se han empleado debido a la necesidad de buscar nuevas alternativas de forraje destinado a la alimentación de ganado lechero que hagan frente a los problemas de cambio climático a los que el mundo se enfrenta en la actualidad; por otro lado, estas nuevas especies han terminado por desplazar a las especies nativas para establecer praderas que tengan mayor producción y mejores características nutricionales, pero en algunos casos estos pastizales no han prosperado como se desea debido a su poca adaptación en la región en la que se establece, por lo que es necesario su estudio para su utilización en pastoreo.

Por otro lado, es necesario tomar en cuenta que hay especies de gramíneas naturalizadas, como es el caso del Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), que crecen favorablemente y poseen generalmente buen valor nutritivo, estas gramíneas no han sido estudiadas ampliamente en la región de estudio.

IV. HIPÓTESIS

No existen diferencias significativas en el desempeño productivo de vacas lecheras en el tercer tercio de lactación, en cuanto al rendimiento y composición fisicoquímica de la leche, basando su alimentación en el pastoreo continuo intensivo de cuatro especies de gramíneas (*Festulolium* cv. Spring Green, *Pennisetum clandestinum*, *Lolium perenne* cv. Pay Day y *Festuca arundinacea* cv. TF-33).

No existen diferencias significativas en la producción de forraje, en cuanto a altura de pradera, acumulación neta de forraje, composición química, digestibilidad y estimación de la energía metabolizable de cuatro especies de gramíneas (*Festulolium* cv. Spring Green, *Pennisetum clandestinum*, *Lolium perenne* cv. Pay Day y *Festuca arundinacea* cv. TF-33).

V. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Evaluar y comparar mediante el método experimental y bajo el enfoque de investigación participativa rural, cuatro variedades de gramíneas: *Festulolium* cv. Spring Green, *Penisetum clandestinum* (Kikuyo), *Lolium perenne* (Ryegrass perenne) cv. Pay Day y *Festuca arundinacea* (Alta Fescue) cv. TF-33; en pastoreo de vacas lecheras en tercer tercio de lactación.

5.2. Objetivos específicos

Evaluar la condición corporal, el peso vivo y el rendimiento de leche de vacas lecheras en pastoreo de las cuatro especies de gramíneas.

Determinar la composición química de la leche (contenido de grasa, proteína, lactosa), pH y nitrógeno ureico en leche.

Determinar la composición botánica, la altura de la pradera y la acumulación neta de forraje de las cuatro especies de gramíneas.

Determinar la composición química, la digestibilidad y la energía metabolizable de las cuatro especies de gramíneas.

VI. MATERIAL

6.1. Material biológico

Se seleccionaron cuatro vacas Holstein multíparas que se encontraban en el tercer tercio de lactación con similar número de partos, que en promedio tenían 186 ± 51 días de lactación, un peso vivo de 493 ± 26.7 Kg, una condición corporal de 2.3 ± 0.3 y un rendimiento de leche de 17.3 ± 2.1 kg de leche/vaca/día, al inicio del experimento.

Se utilizaron cuatro praderas con cerco eléctrico bajo pastoreo continuo intensivo, propiedad de los productores participantes.

6.2. Material no biológico

Bultos de concentrado comercial, marca *Malta* 20% de PC (40 kg c/u).

Báscula portátil electrónica *Gallagher* con capacidad para 1000 kg.

Báscula digital *Scout Pro* con capacidad para 6 kg.

6.3. Material de campo

Para la recolección y el almacenamiento de la leche se utilizaron botes de plástico de 100 ml, cucharones, etiquetas, hieleras, báscula de reloj con capacidad de 20 kg; libreta y lapicero para anotación de los datos recolectados.

Para la recolección y almacenamiento de las muestras del forraje se utilizaron bolsas de plástico, marcadores, pastómetro (medidor de altura de pradera de plato ascendente), cuadrante de metal de 0.16 m^2 (0.4 m x 0.4 m), 24 jaulas de exclusión de 0.5 m^2 (0.25 m x 0.25 m), tijeras de esquila, libreta y lapicero para anotación de los datos recolectados, botas de hule y overol.

6.4. Material de laboratorio

Para la realización de los procedimientos de laboratorio se utilizaron reactivos varios, analizador de leche por ultrasonido *Lacti-check* Modelo *LC-01/A*, baño María, platinas, balanza analítica, estufa de aire forzado, molino *Pulvex 200*, bolsas de papel, frascos de plástico, etiquetas, marcadores, bolsas *Ankom*, analizador de fibras *Ankom 200*, incubadora *Ankom Daisy*, mufla, crisoles, digestor *Kjeldahl* marca *Buchi*, destilador *Kjeldahl*, bata blanca, guantes, cubrebocas, lentes de protección, zapatos cerrados, overol, mascarilla y bitácora en donde se anotaron todos los resultados obtenidos.

6.5. Material de gabinete

Libros, artículos científicos, computadora con Windows y programas Microsoft Word y Microsoft Excel, libretas, marcadores, bolígrafos, lápices y hojas.

VII. MÉTODO

El trabajo se llevó a cabo en la unidad de producción de leche en pequeña escala de dos productores participantes que colaboran en el proyecto “Evaluación de la sustentabilidad de sistemas de producción de leche en pequeña escala” (Clave UAEM 1935/2011C financiado por CONACYT).

7.1. Tratamientos

Se evaluó el pastoreo continuo de cuatro variedades de gramíneas cultivadas:

Cuadro 1. Tratamientos

| Tratamiento | Variedad |
|--------------------|--------------------------------------|
| TF | <i>Festulolium</i> cv. Spring Green |
| KY | <i>Pennisetum clandestinum</i> |
| PD | <i>Lolium perenne</i> cv. Pay Day |
| TF | <i>Festuca arundinacea</i> cv. TF-33 |

La dosis de siembra para las praderas de *Festulolium* cv. Spring Green, *Lolium perenne* cv. Pay Day y *Festuca arundinacea* fue de 30 kg/ha de semilla de gramínea y 3 kg/ha de semilla de trébol blanco (*Trifolium repens*) cv. Ladino, la pradera de *Pennisetum clandestinum* se estableció anteriormente debido a las características de invasibilidad propias de esta gramínea. Las praderas se fertilizaron en el momento de la siembra con 60-80-60 kg/ha de NPK con urea, fosfato diamónico y cloruro de potasio. Durante la evaluación de las praderas la superficie se ajustó a una hectárea, delimitada con cerco eléctrico con una carga animal de tres vacas por hectárea.

7.2. Manejo

Se siguió el método empleado en el trabajo de Sainz-Sánchez (2016): el pastoreo se realizó durante 8 horas (9:00 a 17:00 horas), disponiendo de agua *ad libitum* después del ordeño de la mañana (06:00 horas), y del suministro de concentrado comercial, las vacas eran llevadas a la pradera distribuidas de acuerdo con la secuencia de tratamiento que le correspondiera.

Las vacas fueron suplementadas en corral con 4.65 kg de MS/vaca/día de concentrado comercial marca *Malta* con un 20% de proteína cruda, distribuido en dos raciones durante los ordeños (06:00 y 17:00 horas).

7.3. Diseño experimental y análisis estadístico

Siguiendo la metodología empleada por Pérez-Ramírez *et al.* (2012), el diseño experimental consistió en un cuadro latino 4x4 con una duración de 56 días divididos en cuatro periodos experimentales de 14 días, cada uno de los cuales 10 días fueron de adaptación a la dieta y 4 días para la medición, la recolección de muestras de forraje, de leche y del registro de datos.

Se seleccionaron 4 vacas Holstein en ordeño, similares en etapa de lactación, número de partos, condición corporal, rendimiento de leche y peso vivo, cada una fue asignada de manera aleatoria a las secuencias de los cuatro tratamientos en un arreglo de cuadro latino 4 x 4 por lo que se realizó una doble aleatorización para la secuencia de los tratamientos y para la distribución de las vacas a cada tratamiento (Cuadro 2).

Cuadro 2. Esquema del diseño experimental

| Vacas | Periodos | | | |
|-------|----------|----|-----|----|
| | I | II | III | IV |
| 1 | FL | TF | KY | PD |
| 2 | PD | FL | TF | KY |
| 3 | KY | PD | FL | TF |
| 4 | TF | KY | PD | FL |

PI=Periodo I (8 de agosto al 21 de agosto de 2016); **PII**=Periodo II (22 de agosto al 04 de septiembre de 2016); **PIII**=Periodo III (05 de septiembre al 18 de septiembre de 2016); **PIV**=Periodo IV (19 de septiembre al 02 de octubre de 2016).

El modelo estadístico para el análisis de las variables de producción animal es:

$$Y_{ijkl} = \mu + V_i + P_j + t_k + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk}= Variable respuesta

μ = Media general

V = Efecto vacas i = 1, 2, 3, 4

P = Efecto debido al periodo experimental j = 1, 2, 3, 4

t = Efecto debido al tratamiento k = 1, 2, 3, 4

e = Error experimental

En el modelo estadístico para el análisis de las variables de producción de forraje, se utilizó un diseño por parcelas divididas con cuatro tratamientos mediante el modelo:

$$Y = \mu + PM + pm + B + PM*pm + PM*B + pm*B + e$$

Donde:

Y = Variable respuesta

μ = Media general

PM = Efecto debido a parcela mayor (tratamiento)

pm = Efecto debido a parcela menor (periodo experimental)

B = Efecto debido a bloque (repeticiones)

PM * pm = Efecto debido a la interacción de parcela mayor y parcela menor

PM*B = Efecto debido a la interacción de parcela mayor y bloque

pm*B = Efecto debido a interacción de parcela menor y bloque.

e = Variación residual (error experimental).

Ambos análisis se realizaron con el programa estadístico Minitab V-14.

7.4. Variables evaluadas

7.4.1. Producción animal

7.4.1.1. Condición corporal

Esta variable se registraba al final de cada periodo experimental siempre por la misma persona, la correcta estimación de las reservas corporales se hace a través de la medición del estado corporal de forma visual y por palpación utilizando una escala de 1 a 5 (Grigera y Bargo, 2005).

7.4.1.2. Peso vivo

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

7.4.1.3. Rendimiento de leche

Se registró el rendimiento de leche por vaca al día. El ordeño se realizaba a mano de acuerdo con las prácticas de manejo usuales de los productores participantes durante las dos ordeñas del día a las 06:00 y 17:00 horas. Las mediciones se realizaban los últimos cuatro días de cada periodo experimental, pesando la leche con una báscula de reloj con 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.

7.4.1.4. Composición química de la leche

Las muestras de leche se recolectaban de los contenedores individuales inmediatamente después de cada ordeño previa homogenización con las muestras de ambos ordeños (AM y PM), se preparaba una alícuota de 200 ml respecto a la

producción del día respetando la proporción de cada ordeño (AM y PM) y se analizaba para determinar su composición en cuanto a grasa, proteína, lactosa mediante el analizador de leche por ultrasonido *Lacti-check* modelo LC/01.

Las muestras se mantenían en congelación durante los días de medición en la unidad de producción y una vez finalizados los 4 días de medición eran transportadas al laboratorio de lácteos del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) de la UAEMéx. para determinar la concentración de nitrógeno ureico en leche (NUL) con el método colorimétrico enzimático a través de un espectrofotómetro y se determinó también el pH siguiendo los protocolos establecidos en el Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales.

7.4.2. Forraje

7.4.2.1. Composición botánica

En cada periodo se recolectaban al azar 5 muestras por pradera de 50 g (base húmeda) delimitando el área de corte con un cuadrante de 0.16 m² (0.40m x 0.40m), el corte se realizaba al ras del suelo, posteriormente la muestra se separaba manualmente respetando la relación de gramínea-leguminosa y de materia viva-materia muerta (Lemus-Ramírez *et al.*, 2002), las muestras se secaron en horno a 55-60 ° C por 48 horas hasta alcanzar un peso constante y la relación de los componentes de cada pradera se expresó en g de MS.

7.4.2.2. Altura de la pradera

Las mediciones de altura de cada pradera se registraban 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 con un patrón de “W” cada 20 pasos, abarcando el área total de cada pradera.

7.4.2.3. Acumulación neta de forraje

La acumulación neta de forraje (ANF) se calculó con la finalidad de determinar el crecimiento promedio en cada periodo a través de un método directo que estima la disponibilidad de forraje, útil para el manejo del pastoreo continuo intensivo.

Se utilizaron seis jaulas de exclusión de 0.25m² (0.50m x 0.50 m) por cada pradera colocadas de manera aleatoria en cada periodo experimental para la determinación del crecimiento del forraje, se recolectaban las muestras a partir de cortes delimitando el área con un cuadrante de metal de 0.16m² (0.40 m x 0.40 m), el primer corte correspondiente al día 0 se realizaba a un lado de la jaula de exclusión y el segundo corte correspondiente al día 14 se realizaba dentro de la jaula con el mismo cuadrante, los cortes se realizaban al ras del suelo; por diferencia se estimó la acumulación neta de forraje y el resultado se expresó en Kg de MS/ha, repitiendo el procedimiento en cada uno de los cuatro periodos de experimentación (Marín-Santana y Torres-Lemus, 2017).

7.4.2.4. Composición química de forraje y concentrado

Los análisis bromatológicos de las muestras de forraje se realizaron en su totalidad siguiendo los procedimientos establecidos en el laboratorio del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) de la UAEMéx., basados en los protocolos de la AOAC (1990).

Para la obtención de las muestras se utilizó la técnica de *pastoreo simulado* que consiste en recolectar muestras al azar de toda la pradera con la mano de forma semejante a los cortes que hace el ganado al pastorear (Wayne, 1964). Se realizaba en cada una de las cuatro praderas los últimos cuatro días de medición de cada

período experimental colectando una muestra compuesta por los cuatro días. Las muestras del concentrado comercial se recolectaban el último día de cada periodo experimental.

Los componentes que se determinaron tanto para las muestras de pastoreo simulado de las praderas como para el concentrado comercial fueron:

Materia Seca (MS), colocando las muestras en una estufa de aire forzado a 65°C durante 48 horas; posteriormente se molieron en el molino *Pulvex 200*. Los compuestos inorgánicos o minerales (cenizas) se determinaron al colocar la muestra en una mufla a temperatura de 550°C durante 3 horas, para después determinar por diferencia el contenido de materia orgánica (MO).

Se determinó el nitrógeno (N) total para calcular el total de Proteína Cruda (PC) al multiplicar la cantidad de nitrógeno presente en la muestra por 6.25.

Las fracciones de fibra se determinaron en términos de fibra detergente neutro (FDN) y de fibra detergente ácido (FDA) con *alfa amilasa* sin corrección de cenizas.

La digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO) se determinó a través del método de incubación enzimática. Las muestras, después de la determinación de FDN, se incubaron por 24 horas con una mezcla de celulasa (*Onozuka R-10*); seguido por la determinación de cenizas después de la incubación.

La fórmula empleada para la estimación de la Digestibilidad *in vitro* de la Materia Orgánica (DIVMO) es:

$$DIVMO = \frac{MO\ inicial - ((Tara + Residuos\ de\ incubación) - (tara + cenizas\ de\ incubación)) * 100}{MO\ inicial}$$

Donde:

MO inicial= Materia Orgánica inicial

$$MO\ inicial = \frac{(Materia\ Seca - Cenizas)}{100} * Peso\ Muestra\ (g)$$

7.4.2.5. Energía metabolizable

Para estimar la EM se utilizaron los valores promedio de la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO) de cada tratamiento, la estimación se realizó con la siguiente fórmula siguiendo el método descrito por Riveros y Argamentaria (1987).

$$EM\ (MJ/kg\ MS) = k * DMO\ (g/kg\ MO)$$

Donde:

$$k=0.01557$$

DMO=Digestibilidad de la Materia Orgánica (g/ kg MO).

VIII. LÍMITE DE ESPACIO

Las unidades de producción de leche en pequeña escala donde se realizó el trabajo experimental se ubican en el Ejido La Concepción, pertenecen al municipio de Aculco, ubicado al noroeste del Estado de México, colinda al norte con el municipio de Polotitlán y el estado de Querétaro, al sur con los municipios de Acambay y Timilpan, al este con el municipio de Jilotepec y al oeste con el estado de Querétaro. Su región está considerada como una zona de clima semifrío subhúmedo con lluvias en verano, sin estación invernal bien definida. La temperatura media anual es de 13.2 ° C teniendo las más bajas alrededor de los meses de noviembre a febrero y que llegan a ser de menos cero, ocasionando heladas. Altitud de 2240 metros sobre el nivel del mar. La temporada de lluvias inicia a finales de marzo o principios de abril, hasta octubre o noviembre. Su precipitación pluvial promedio anual es de 699.6 milímetros. (INAFED, 2010).

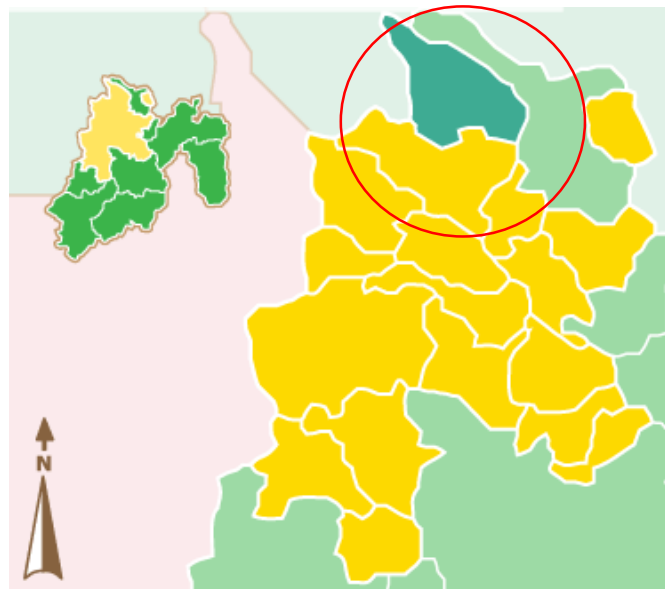


Figura 1. Ubicación geográfica de Aculco, estado de México (INAFED, 2017).

Los análisis de laboratorio se realizaron en el Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) de la Universidad Autónoma del Estado de México, ubicado en el Campus Universitario “El Cerrillo”, en Toluca, Estado de México.

IX. LÍMITE DE TIEMPO

La fase experimental se realizó durante la temporada de lluvias y tuvo una duración de 56 días divididos en cuatro períodos de 14 días cada uno. Del lunes 8 de agosto al domingo 2 de octubre de 2016.

Los períodos fueron divididos de la siguiente forma:

Cuadro 3. Fechas de los periodos establecidos

| | |
|------------------|--------------------------------------|
| Período 1 (PI) | 08 de agosto al 21 de agosto |
| Período 2 (PII) | 22 de agosto al 04 de septiembre |
| Período 3 (PIII) | 05 de septiembre al 18 de septiembre |
| Período 4 (PIV) | 19 de septiembre al 02 de octubre |

La fase de laboratorio se realizó durante los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2016.

X. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

10.1. Desempeño animal

Para el rendimiento de leche, peso vivo y condición corporal no se detectaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) como se muestra en el cuadro 4:

Cuadro 4. Condición corporal, peso vivo y rendimiento de leche

| Variables | Tratamientos | | | | EEM | p (<0.05) |
|-----------------------------------|--------------|-------|-------|-------|-----|-------------------|
| | FL | TF | KY | PD | | |
| RL (kg/vaca/día) | 11.7 | 12.6 | 11.0 | 11.3 | 0.6 | 0.4 ^{NS} |
| PV (kg) | 479.6 | 484.0 | 375.0 | 483.1 | 6.1 | 0.8 ^{NS} |
| CC (1-5) | 2.1 | 2.3 | 2.3 | 2.3 | 0.2 | 0.7 ^{NS} |

CC=Condición corporal; **PV**=Peso vivo; **RL**=Rendimiento de leche; **FL**=*Festulolium* cv. Spring Green; **TF**=*Festuca arundinacea* cv. TF33; **KY**=*Pennisetum clandestinum* (Kikuyo); **PD**=*Lolium perenne* (Ryegrass) cv. Pay-Day; **EEM**=Error estándar de la media; ^{NS}=No significativo ($p > 0.05$).

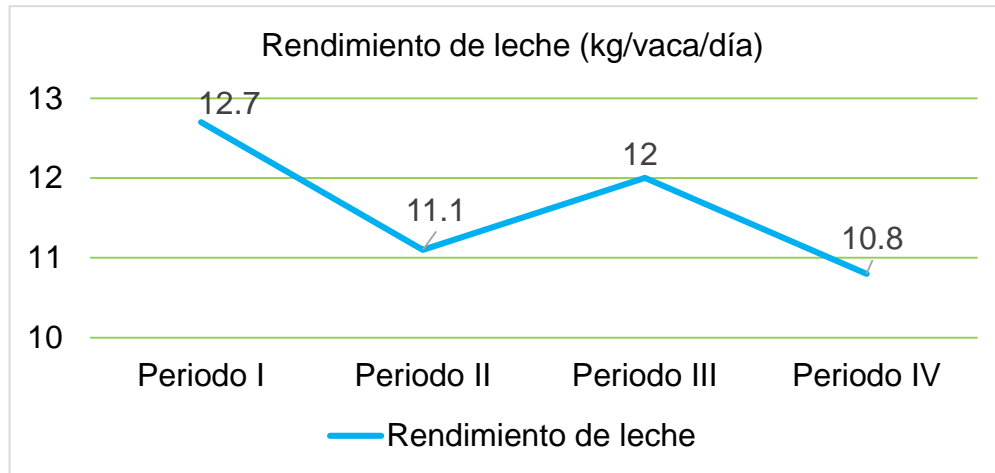
En promedio, el rendimiento de leche fue de 11.6 ± 1.6 kg de leche/vaca/día, el peso vivo de $483.6 \text{ Kg} \pm 20.9$, con una condición corporal de 2.2 ± 0.3 .

En un estudio realizado por Pozo-Leyva *et al.* (2017) en el cual se evaluaron a vacas en pastoreo de diversas praderas en sistemas de producción de leche a pequeña escala, obtuvieron resultados de rendimiento de leche de 16.1 kg de leche/vaca/día como media, resultados mayores a los obtenidos en este experimento.

La producción de leche depende de la capacidad de síntesis de la glándula mamaria y de la disponibilidad de nutrientes. Durante el ciclo gestación-lactación, la glándula mamaria parece estar poco influenciada por la alimentación de la vaca durante la lactación. Por el contrario, la síntesis de leche depende en gran medida de la cantidad de nutrientes disponibles, que están relacionados con las cantidades ingeridas y la composición de la ración. La capacidad de ingestión representa el potencial y motivación que tiene un animal para ingerir los alimentos, disminuye con el aumento de la condición corporal, y se ve afectada por la edad de la vaca y su estado fisiológico. Las vacas primíparas tienen una capacidad de ingestión más baja que las multíparas. Igualmente, las vacas en inicio de lactación y en parto (fin de gestación) presentan una capacidad de ingestión reducida (INRA, 2007), por lo que puede ser este un factor que influye sobre el rendimiento de leche, peso vivo y la condición corporal.

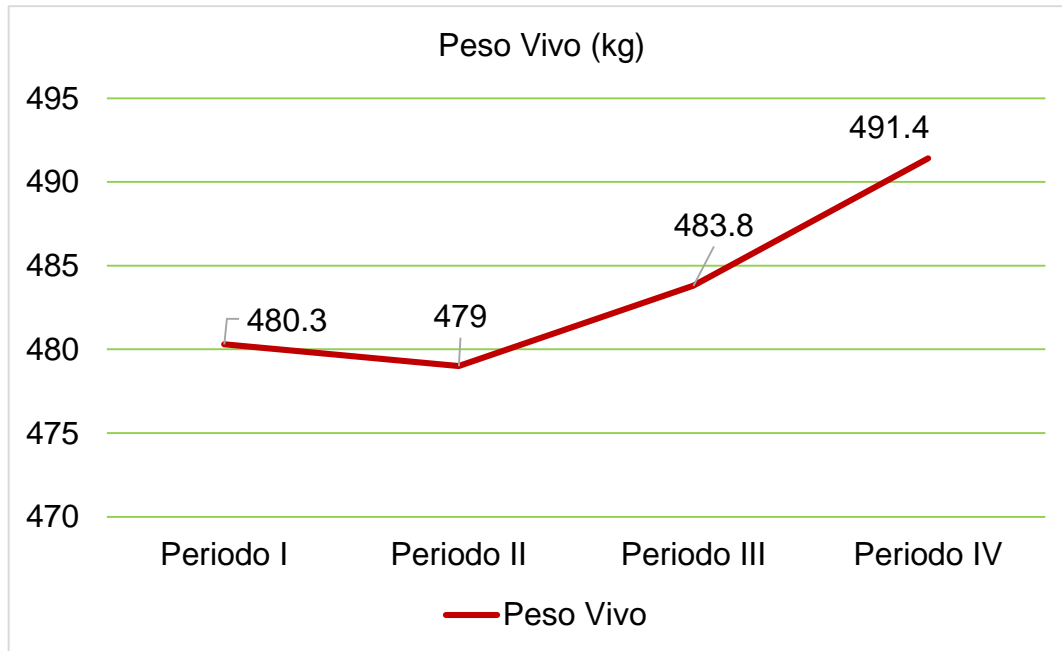
En la gráfica 1 se presenta el rendimiento de leche durante el experimento, no encontrándose diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) entre periodos, se puede observar que el rendimiento de leche fue más o menos variable, al inicio se registró un mayor rendimiento, pero después fue disminuyendo, e incluso al final del experimento se registró el menor rendimiento, lo que es de esperarse a medida que avanza la lactación.

Gráfica 1. Efecto del periodo experimental sobre la producción de leche de vacas en tercer tercio de lactación en pastoreo continuo intensivo



En la gráfica 2 se presenta el seguimiento del peso vivo registrado a medida que avanzó el experimento, no encontrándose diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$), se puede observar que contrario a lo sucedido con el rendimiento de leche, el peso vivo fue aumentando a medida que avanzó el experimento, debido a la etapa de lactación-finalización.

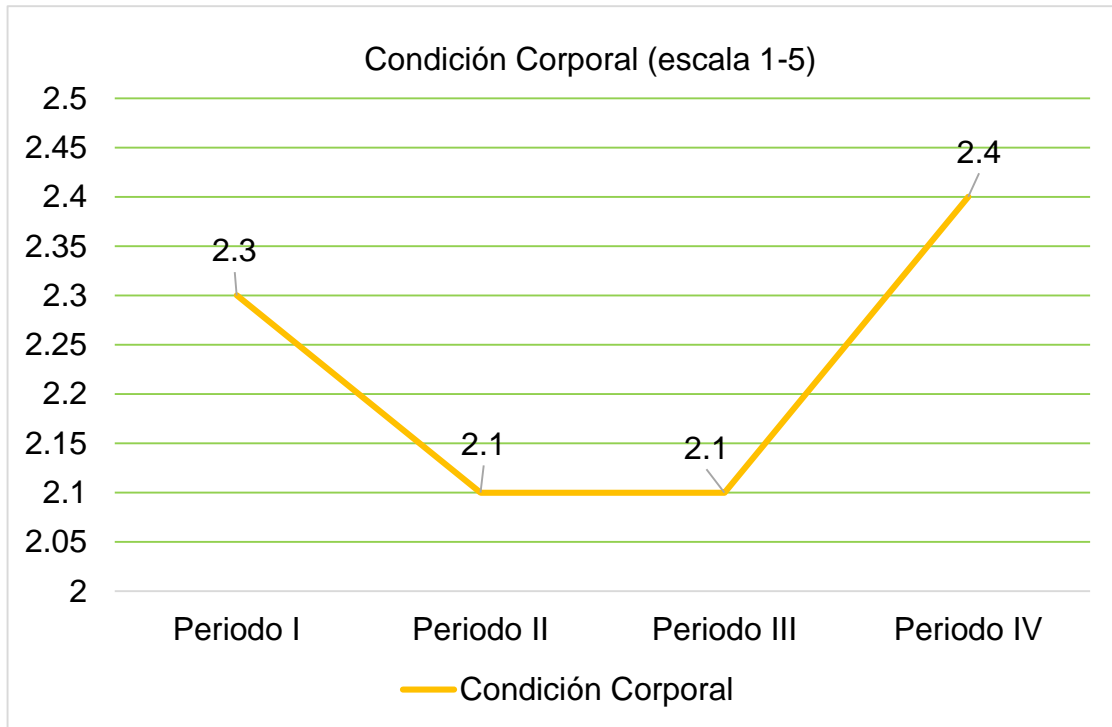
Gráfica 2. Efecto del periodo experimental sobre el peso vivo de vacas en tercer tercio de lactación en pastoreo continuo intensivo



En la gráfica 3 se presenta el progreso sobre la condición corporal de las vacas durante el experimento, no existiendo diferencias estadísticamente significativas ($p>0.05$) entre periodos.

Se observa una disminución de la condición corporal a la mitad del experimento, aunque al final aumentó. Esta evaluación de carácter subjetivo nos sirve como herramienta para evaluar el desempeño de las vacas.

Gráfica 3. Efecto del periodo experimental sobre la condición corporal de vacas en tercer tercio de lactación en pastoreo continuo intensivo



10.2. Composición fisicoquímica de la leche y nitrógeno ureico en leche (NUL)

Cuadro 5. Composición fisicoquímica de la leche: grasa, proteína, lactosa y pH; y nitrógeno ureico en leche (NUL)

| Variables | Tratamientos | | | | EEM | p (<0.05) |
|------------------------------------|--------------|------|------|------|-----|-------------------|
| | FL | TF | KY | PD | | |
| Grasa (g/kg de leche) | 33.5 | 34.2 | 34.3 | 36.6 | 0.9 | 0.2 ^{NS} |
| Proteína (g/kg de leche) | 31.6 | 32.2 | 31.5 | 31.7 | 0.3 | 0.4 ^{NS} |
| Lactosa (g/kg de leche) | 45.9 | 45.7 | 45.5 | 45.0 | 0.6 | 0.7 ^{NS} |
| pH | 6.7 | 6.7 | 6.7 | 6.8 | 0.2 | 0.6 ^{NS} |
| NUL (mg/dL) | 10.0 | 9.9 | 9.9 | 8.9 | 1.3 | 0.9 ^{NS} |

FL=*Festulolium* cv. Spring Green; **TF**=*Festuca arundinacea* cv. TF33; **KY**=*Pennisetum clandestinum* (Kikuyo); **PD**=*Lolium perenne* (Ryegrass) cv. Pay-Day; **EEM**=Error estándar de la media; ^{NS}=No significativo ($p>0.05$).

Como se presenta en el cuadro 5, en la composición de la leche no se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p>0.05$), en cuanto a grasa, proteína y lactosa; así como tampoco hubo diferencias estadísticamente significativas ($p>0.05$), en el pH ni en el contenido de nitrógeno ureico en leche.

10.2.1. Contenido de grasa, proteína y lactosa

En promedio se obtuvo un contenido de 34.6 ± 1.8 g/kg en grasa, de proteína 31.7 ± 0.8 g/kg y de lactosa 45.5 ± 1.6 g/kg. La FAO menciona que las vacas de raza Holstein producen leche con un contenido de grasa de 34.1 g/kg, 33 g/kg de proteína y lactosa 49 g/kg, valores altos en comparación con los obtenidos en este experimento. Por otro lado, el Pliego de Condiciones para el Uso de la Marca Oficial México Calidad Suprema en Leche (2005) menciona que el contenido de lactosa debe estar en el rango de 45 a 50 g/kg, de proteína más de 31 g/kg y de grasa más de 32 g/kg. Al respecto la NOM-700-COFOCALEC-2004, que establece las especificaciones para la leche cruda de vaca, indica que el contenido de grasa debe ser >30 g/kg, de proteína >28 g/kg y de lactosa de 43 a 50 g/kg, de acuerdo con lo anterior, el contenido de grasa, proteína y leche está dentro de los estándares requeridos en México.

Los resultados de grasa, proteína y lactosa en leche reflejan su calidad nutritiva, por lo tanto, los resultados demuestran que se obtuvo un contenido apto o aceptable en todos los tratamientos.

Otros estudios como el realizado por Pozo-Leyva *et al.* (2017) anteriormente mencionado, reportan resultados de proteína de 32.3 g/Kg, 36.5 g/Kg de grasa, 47.3 g/Kg de lactosa, los cuales son resultados mayores que los obtenidos en este experimento a excepción del contenido de proteína. En contraste, un estudio realizado por Cameron *et al.* (2017), en donde se comparan tres estrategias de alimentación entre las cuales se incluía el pastoreo en vacas con una producción mayor a 37 kg/vaca/día, reportan un contenido de grasa de 34 g/kg y proteína de 29 g/kg; estos resultados fueron similares a los encontrados en este experimento.

10.2.2. pH de la leche

El rango de pH encontrado estuvo entre 6.7 y 6.8 con un promedio de 6.7 ± 0.3 , dentro de parámetro normales.

El pH de la leche no es un valor constante, puede variar durante el curso de la lactación, observándose valores muy altos (mayores a 7.4) en leche de vacas de fin de lactancia (Negri, 2005), lo cual no ocurrió en este experimento, a pesar de que las vacas evaluadas se encontraban en el tercer tercio de lactación.

Por otro lado, valores de pH 6.9 a 7.5 son medidos en leche procedente de vacas con mastitis debido a un aumento de la permeabilidad de las membranas de la glándula mamaria. El pH varía en un rango muy reducido y valores de pH inferiores a 6.5 o superiores a 6.9 ponen en evidencia leche anormal (Negri, 2005). Por lo mencionado anteriormente, se puede decir que el pH en algunos casos puede indicarnos el estado de salud del animal.

10.2.3. Nitrógeno ureico en leche (NUL)

El contenido promedio de nitrógeno ureico en leche fue de 9.7 ± 2.6 mg/dL. Pozo-Leyva *et al.* (2017), hicieron su investigación en unidades de producción de leche en pequeña escala con sistemas de pastoreo más la suplementación con concentrado comercial, durante la época de lluvias, reportan un resultado de NUL medio de 13.4 mg/dL.

En un estudio realizado sobre el balance de nitrógeno en vacas Holstein pastando praderas de Kikuyo más un suplemento alimenticio, realizado con vacas que se encontraban en primer y tercer tercio de lactación, se encontró un menor contenido de nitrógeno en leche que en las vacas en tercer tercio de lactación (Jaimes-Cruz, *et al.*, 2016).

La concentración de nitrógeno ureico en leche permite la detección indirecta de los niveles de proteína en la alimentación. Las dietas con alto contenido proteico tienden a presentar niveles más altos de NUL, por lo que se puede decir que el contenido de NUL es un buen indicador del contenido de proteína en la dieta y sirve para determinar el balance proteico de las raciones de ganado lechero. La urea se produce a partir del amoníaco derivado principalmente de la descomposición de las proteínas en el rumen, si los microorganismos ruminales no pueden capturar todo el amoníaco y convertirlo en proteína microbiana, el exceso de amoníaco es absorbido a través de la pared ruminal, pasando al hígado donde es convertido en urea que se vierte al torrente sanguíneo para ser excretado en orina o en leche. La detoxificación del amoníaco constituye una pérdida de energía para la vaca lechera, lo que puede limitar la producción de leche, esto es un buen indicador de la relación proteína-energía en la dieta. Los valores promedios usualmente utilizados para evaluar los niveles de NUL van de 10 a 14 mg/dL. Valores menores a 8 mg/dL se consideran bajos, lo que indicaría un bajo contenido de proteína degradable de los alimentos en comparación a la disponibilidad ruminal de energía, cuya consecuencia sería una menor eficiencia en la utilización del alimento, lo que a su vez afecta la producción de leche. Por otro lado, valores de NUL mayores a 16 se consideran altos y pueden originar alto costo de la ración por un exceso de proteína y la pérdida de energía ya que la vaca requiere energía para convertir amoníaco a urea, el cual se elimina posteriormente en la orina (Gámez y Fernández, 2018).

En general, el inadecuado balance de proteína de la dieta se relaciona con altos o bajos niveles NUL, lo que puede ocasionar pérdida de nutrientes, alto costo de alimento, efecto desfavorable sobre la salud del animal y reducción en la producción de leche.

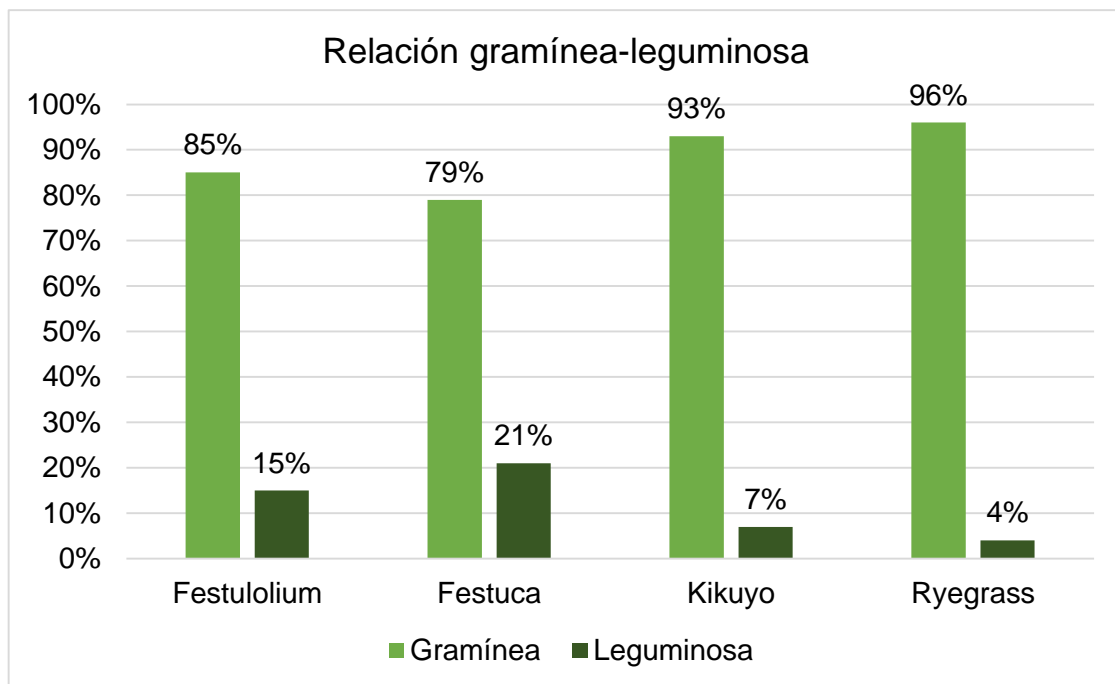
10.3. Forraje

10.3.1. Composición botánica

En composición botánica se presentan los porcentajes encontrados de gramínea y leguminosa y materia viva-materia muerta en cada pradera.

En la gráfica 4 se presentan los porcentajes de gramínea y leguminosa obtenidos, observándose la relación gramínea-leguminosa para cada pradera.

Gráfica 4. Porcentaje de gramínea y leguminosa en las praderas

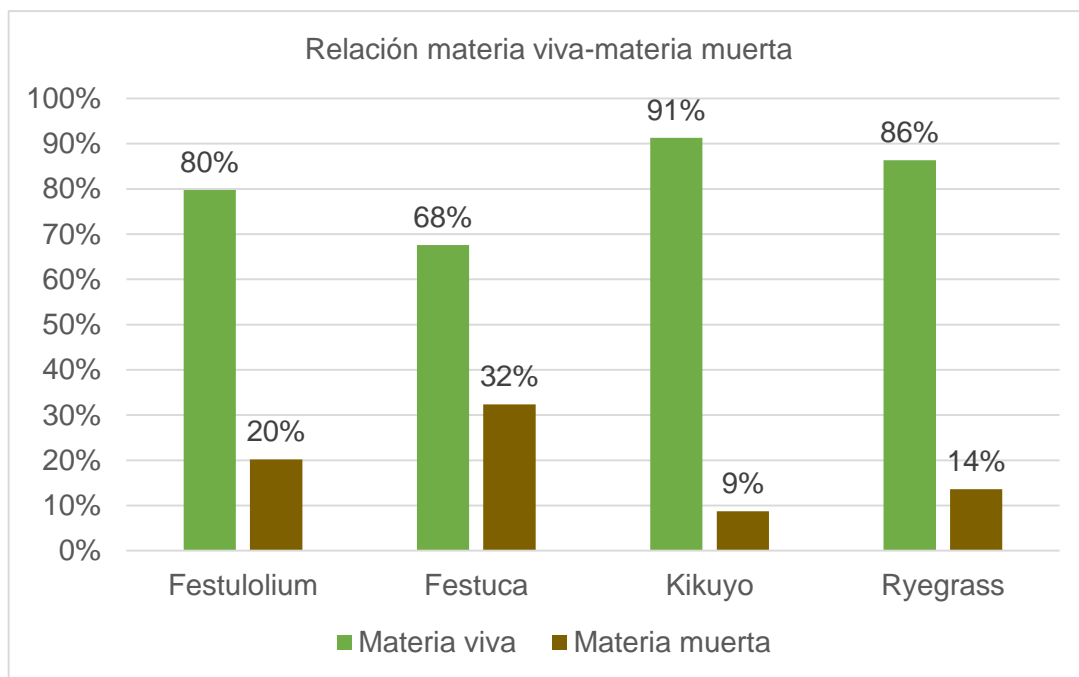


En todas las praderas hubo una mayor cantidad de gramínea que de leguminosa, lo cual indica un buen establecimiento de la pradera y una buena asociación. En un estudio realizado por Dini *et al.* (2012) se determinó la composición botánica de praderas asociadas con leguminosas, encontrándose relaciones de gramínea-leguminosa de 76-24, resultados similares a los reportados por estos autores se

encontraron para *Festulolium* y *Festuca* en este trabajo. Kikuyo y Ryegrass muestran resultados similares.

En la gráfica 5 se presentan los porcentajes de materia viva y materia muerta obtenidos, se observa la relación entre materia viva y materia muerta encontrada en cada pradera.

Gráfica 5. Porcentaje de materia viva y materia muerta en las praderas



El porcentaje de materia viva fue alta para todas las praderas. Se observan resultados similares entre *Festulolium* y *Festuca*, estas praderas presentaron un mayor contenido de materia muerta. Lo contrario sucede para Kikuyo y Ryegrass, con porcentajes de materia muerta menores. Conocer la cantidad de materia viva presente nos permite valorar la calidad de lo que las vacas consumen, ya que, si existe mayor contenido de materia muerta, significa que en realidad lo que la vaca está consumiendo no será aprovechable de forma nutricional.

10.3.2. Altura de pradera y acumulación neta de forraje (ANF)

Cuadro 6. Altura de pradera y acumulación neta de forraje (ANF)

| Variable | Tratamiento | | | | EEM _{Tx} | EEM _{Px} | P (<0.05) |
|----------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | FL | TF | KY | PD | | | |
| Altura de la pradera (cm) | 6.4 ^a | 3.8 ^b | 4.4 ^b | 4.0 ^b | 0.8 | 1.7 | <0.001 |
| ANF por periodo (kg MS/ha) | 317.9 | 821.5 | 1004.2 | 590.2 | 419.7 | 646.1 | 0.2 ^{NS} |
| ANF por día (kg MS) | 22.7 | 58.7 | 71.7 | 42.2 | 30.0 | 46.2 | 0.2 ^{NS} |

FL= *Festulolium* cv. Spring Green; **TF=** *Festuca arundinacea* cv. TF33; **KY=** *Pennisetum clandestinum* (Kikuyo); **PD=** *Lolium perenne* (Ryegrass) cv. Pay-Day; **EEM_{Tx}**= Error estándar de la media por tratamiento; **EEM_{Px}**= Error estándar de la media por periodo; ^{NS}= No significativo (p>0.05).

10.3.2.1. Altura de pradera

La altura de pradera en promedio fue de 4.7±1.6 cm. *Festulolium* mostró una altura de pradera mayor estadísticamente significativa (p<0.05) en comparación con las otras praderas que no mostraron diferencias entre sí, esto puede deberse al estado fenológico en el que se encontraba el *Festulolium* durante la realización del experimento. Todas las praderas a excepción de *Festulolium* estuvieron por debajo

de la altura de pradera recomendada, que es por arriba de 5 cm, lo cual es un factor que pudo limitar el consumo.

La altura de la pradera puede restringir la disponibilidad de forraje y el comportamiento alimenticio de los animales, característica no nutricional de la pradera pero que se relaciona estrechamente al consumo por vacas en pastoreo. La medición de la altura del pasto es el procedimiento más práctico para determinar la disponibilidad del forraje y la presión del pastoreo (Chamberlain y Wilkinson, 2002).

En pastoreo continuo, con una carga animal baja y un estado estable de la pradera, la ingestión de hierba por vaca aumenta con la altura de la hierba, que define la aprehensibilidad de la pradera. Una altura media constante de 6-7 cm permite cubrir la capacidad de ingestión de las vacas, la ingestión va disminuyendo notablemente para alturas inferiores a 5 cm (INRA, 2007).

10.3.2.2. Acumulación neta de forraje (ANF)

Se obtuvo una media de 48.8 kg MS/día, lo que es equivalente a 12.2 kg MS/vaca/día. Para la acumulación neta de forraje hubo variación numérica, sin embargo, a pesar de esto, no hubo diferencias estadísticamente significativas ($p>0.05$), a pesar de que el resultado de la pradera de Kikuyo fue superior por mucho.

En un estudio realizado por Dini *et al.* (2012) donde compararon pasturas de leguminosas y de gramíneas, encontraron valores de disponibilidad de forraje de 35 y 45 kg MS/vaca/día respectivamente, mostrando diferencias significativas y valores mayores a 2000 kg/MS/ha, estos resultados superan a los encontrados en este trabajo.

La acumulación neta de forraje (ANF) es el estimador del crecimiento del forraje en un periodo neto, que se obtiene por diferencia entre la medición al final de un periodo y su diferencia al inicio de ese periodo de medición, se requiere de jaulas o zonas de exclusión del pastoreo durante el periodo de medición que eviten que el ganado consuma el nuevo crecimiento del forraje (Hodgson, 1994).

El concepto de disponibilidad integra aspectos cualitativos de la estructura de la pradera, como la altura, la biomasa o la proporción de hojas, que determinan su aprehensibilidad, y aspectos cuantitativos de oferta alimentaria, como la superficie ofrecida, el tiempo de permanencia y la cantidad de forraje ofrecido por vaca y día (INRA, 2007).

10.3.3. Composición de forraje, determinación de digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO) y estimación de la energía metabolizable (eEM)

Cuadro 7. Composición de forraje (g/kg MS), determinación de digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (g/kg MS) y estimación de energía metabolizable (MJ/kg MS)

| Variables | Tratamientos | | | | EEM _{Tx} | EM _{Px} | p (<0.05) |
|--------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------|------------------|-----------|
| | FL | TF | KY | PD | | | |
| MS | 206.5 ^a | 212.2 ^a | 201.2 ^b | 185.5 ^a | 1.0 | 1.6 | 0.01 |
| PC | 140.6 ^a | 151.0 ^b | 213.2 ^b | 190.9 ^a | 8.4 | 3.6 | 0.0 |
| MO | 891.9 ^b | 877.5 ^b | 889.3 ^a | 875.5 ^a | 6.8 | 6.7 | 0.0 |
| FDN | 485.0 ^b | 469.3 ^b | 526.1 ^a | 524.0 ^a | 4.5 | 3.3 | 0.01 |
| FDA | 233.8 ^a | 238.7 ^a | 201.4 ^{ab} | 219.3 ^b | 6.6 | 5.8 | 0.002 |
| DIVMO | 751.5 ^a | 719.2 ^{ab} | 665.2 ^c | 652.6 ^{bc} | 2.7 | 4.1 | 0.0 |
| eEM | 11.4 ^a | 10.9 ^{ab} | 10.1 ^c | 9.9 ^{bc} | 2.7 | 4.1 | 0.0 |

FL=Festulolium cv. Spring Green; **TF**=Festuca arundinacea cv. TF33; **KY**= Pennisetum clandestinum (Kikuyo); **PD**=Lolium perenne (Ryegrass) cv. Pay-Day; **EEM_{Tx}**=Error estándar de la media por tratamiento; **EEM_{Px}**=Error estándar de la media por periodo; **MS**=Materia seca; **PC**=Proteína cruda; **MO**=Materia orgánica; **FDN**=Fibra detergente neutro; **FDA**=Fibra detergente ácido; **DIVMO**=Digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica **eEM**= Energía metabolizable estimada.

Como se muestra en el cuadro 7, hubo diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre praderas para MS, PC, MO, FDN, FDA, DIVMO y eEM.

La producción de leche depende considerablemente del consumo de alimento; por lo tanto, es importante conocer la calidad nutricional de los ingredientes que forman parte de la dieta, en términos de digestibilidad, proteína cruda, materia orgánica y fracciones de fibra (FDN y FDA), dichos valores fueron determinados mediante las muestras de pastoreo simulado correspondientes a cada pradera y de cada periodo evaluados.

Bargo (2002) menciona que una pastura de alta calidad es aquella que cumple con los siguientes contenidos nutrimentales en base seca: MS, 180-240 g/kg; PC, 180-250 g/kg MS; FDN, 400-500 g/kg MS; EM, 6.4-7 MJ/kg MS.

Las necesidades nutricionales de una vaca lechera se rigen por su requerimiento energético de mantenimiento, producción de leche y gestación. En pastoreo, la ingestión de pasto por las vacas varía con su capacidad de ingestión, el valor lastre del pasto, la naturaleza y la cantidad de los suplementos aportados, igualmente varía con la disponibilidad de pasto. En ciertos casos, no es posible o no es necesario cubrir completamente las necesidades de mantenimiento y producción, los animales pueden obtener transitoriamente de sus reservas corporales los nutrientes que les faltan y adaptar su producción (INRA, 2007).

10.3.3.1. Materia seca (MS)

El contenido promedio de materia seca fue de 201.3 ± 17.2 g/kg MS, valor aceptable y esperado para pasturas (Bargo, 2002). Dini *et al.* (2012) reporta un contenido de materia seca de 384 g/kg en praderas de Ryegrass, un resultado mayor a los obtenidos en el experimento.

Festuca obtuvo un mayor contenido de materia seca, seguido por *Festulolium* y después Kikuyo. Ryegrass obtuvo un menor contenido de materia seca en comparación con los otros tratamientos.

Conocer la cantidad de materia seca es importante debido a que el contenido nutricional se analiza a partir del contenido de MS.

La producción de leche está influenciada por el consumo de materia seca y está a su vez por la calidad nutritiva de la dieta. A mayor consumo de materia seca, mayor será la producción (Chamberlain y Wilkinson, 2002).

10.3.3.2. Proteína cruda (PC)

El contenido de PC en promedio fue de 173.9 ± 34.4 g/kg MS. Se observó que el resultado de proteína fue alto para Ryegrass y Kikuyo, fue sorprendente encontrar para el tratamiento de Kikuyo un resultado similar a Ryegrass, esto se puede explicar mencionando que algunas muestras recolectadas de pastoreo simulado contenían gran cantidad de hojas y pasto vivo, lo cual contiene un mayor valor nutricional que los tallos. Festuca y *Festulolium* tuvieron un contenido menor de proteína, siendo *Festulolium* el que menor contenido obtuvo.

En el estudio realizado por Dale *et al.* (2017) sobre distintas intensidades de pastoreo se presentan resultados de proteína cruda de 209 a 234 g/kg MS, encontrándose menor cantidad de proteína cruda en el pastoreo de menor

intensidad, los resultados del contenido de proteína cruda obtenido en este experimento fueron menores a los reportados por estos autores.

El estado de madurez del forraje va a determinar el contenido de proteína presente. Chamberlain y Wilkinson (2002) señalan que para vacas con una producción de leche de 10 kg/día (producción media aproximada de las vacas de este experimento), son necesarios contenidos de proteína cruda de 145 a 155 g/kg MS, por lo que se puede decir que las cuatro gramíneas cumplen con los aportes nutricionales necesarios para cubrir los requerimientos de las vacas considerando su producción de leche.

10.3.3.3. Materia orgánica (MO)

Se obtuvo un contenido de materia orgánica de 883.5 ± 10 g/kg MS en promedio. En *Festulolium* se obtuvo una mayor cantidad de materia orgánica en comparación con las otras tres gramíneas, seguido por Kikuyo. Festuca y Ryegrass, los cuales obtuvieron menor cantidad de materia orgánica, siendo Ryegrass el de menor contenido de materia orgánica.

En este experimento las cuatro gramíneas obtuvieron más de 800 g/kg MS de materia orgánica, lo cual es aceptable. Dini *et al.* (2012), reportan en praderas de gramíneas un contenido de materia orgánica de 903 g/kg MS; el cual es un resultado mayor a los que se obtuvieron en el experimento.

La materia seca está conformada por materia orgánica, donde se encuentran la parte celular de los alimentos y la materia inorgánica (cenizas o minerales) (Chamberlain y Wilkinson, 2002).

10.3.3.4. Fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA)

En promedio se obtuvo un resultado en FDN de 501.1 ± 43.7 g/kg MS, las cuatro gramíneas obtuvieron resultados que son aceptables para pasturas (Bargo, 2002).

Se encontró mayor contenido de FDN en Kikuyo, seguido por Ryegrass; *Festulolium* obtuvo menor cantidad que los dos anteriores y la de menor cantidad fue Festuca. El contenido de FDN en Kikuyo es mayor debido a que es una gramínea de clima subtropical, estas gramíneas se caracterizan por tener una mayor acumulación de carbohidratos estructurales en comparación con las gramíneas de clima templado.

En el estudio de Dale *et al.* (2017) obtuvieron resultados de FDN de 459 a 479 g/kg MS, valores que fueron similares a los encontrados en este trabajo.

Se obtuvo un resultado de FDA de 223.3 ± 21.2 g/kg MS en promedio. En los resultados de FDA se obtuvo para *Festulolium* una cantidad mayor comparándola con las otras tres gramíneas, mostrando entre *Festulolium* y Festuca un resultado similar; los valores más bajos encontrados fueron para Kikuyo y Ryegrass, siendo Kikuyo la de menor cantidad de FDA.

En el trabajo de Dale *et al.* (2017) se reportaron resultados de FDA de 213 a 223 g/kg MS, los cuales también fueron muy similares a los obtenidos en este trabajo.

Se debe mantener un contenido de FDA por encima de 190 g/kg MS, por lo cual los resultados del experimento se consideran valores aceptables. Los valores de FDN también se encuentran dentro de los valores esperados para pasturas.

La concentración de fibra está ligada al consumo de materia seca y con la concentración energética del mismo, el material fibroso al ser de más lenta digestión y evacuación del rumen limita el consumo debido al efecto físico de llenado sobre el rumen, por ello, en la medida en que se incrementa el contenido de FDN y FDA en el forraje, decrece el consumo de MS, y la digestibilidad, simultáneamente. La fracción fibrosa del forraje es de gran importancia en la dieta de los rumiantes para un correcto funcionamiento del rumen (Teuber *et al.*, 2007). Van Soest y sus colaboradores propusieron el método llamado fracciones de fibra en el cual se rompen las paredes celulares por medio de un tratamiento con una solución neutra

de un detergente, para quedar como remanente la llamada fibra detergente neutro (FDN); su complemento es el material que desaparece, el contenido celular, que se presupone tiene una alta digestibilidad. Después la hemicelulosa se dirige en una solución ácida detergente, al residuo se le llama fibra detergente ácido (FDA) o complejo lignocelulósico, ésta se somete a un tratamiento con una solución fuertemente oxidante, que disuelve a la lignina, y se obtiene entonces la celulosa como remanente, la cual se estima por incineración. El contenido celular, la hemicelulosa, celulosa y lignina se calculan con base en su desaparición (Shimada, 2009).

10.3.3.5. Digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO)

Se obtuvo un resultado promedio de DIVMO de 697.1 ± 54.4 g/kg MS. La DIVMO es uno de los indicadores nutricionales más importantes, esta fue alta en *Festulolium*, intermedia en Festuca y Kikuyo y a pesar de la calidad que se atribuye a Ryegrass este tuvo un resultado de digestibilidad bajo.

En el trabajo de Dini *et al.* (2012) ya mencionado, se obtuvo un resultado de DIVMO de 659 g/kg MS, resultado similar a los encontrados en el presente trabajo.

El valor nutritivo de las plantas está relacionado con dos factores principalmente: la concentración de los nutrientes y su digestibilidad. La digestibilidad de un alimento es la proporción que es absorbida en el tracto digestivo del animal (Teuber *et al.*, 2007), además de considerarse como un indicador para la estimación de la energía en los alimentos. Los análisis bromatológicos de los alimentos son solo un indicador de su contenido nutricional, más no de su disponibilidad para el animal, por tal motivo es necesario contar además con datos de digestibilidad.

El consumo está influenciado por la digestibilidad de la materia orgánica del forraje y también por la disponibilidad de forraje; la digestibilidad y la concentración de

nutrientes disminuyen rápidamente a medida que progresa el crecimiento vegetativo (Burgstaller, 1981).

Con los valores obtenidos de digestibilidad se pueden emplear métodos para la determinación de los valores energéticos de los alimentos, considerándose así a la digestibilidad como un indicador para la estimación de la energía en los alimentos. (Shimada, 2009).

10.3.3.6. Estimación de energía metabolizable (eEM)

La eEM promedio fue de 10.5 ± 0.9 MJ/kg de MS. *Festulolium* tuvo un resultado de EM mayor a las otras gramíneas, seguido por *Festuca* con un resultado similar; se encontraron resultados menores en kikuyo y Ryegrass, siendo Ryegrass el de menor contenido de EM.

En el trabajo de Dale *et al.* (2017), anteriormente mencionado, se reportaron resultados de 11.7 a 11.9 MJ/kg MS, resultados mayores a los obtenidos en este trabajo.

El contenido de eEM se ve reflejado en los resultados de DIVMO. Para estimar la energía metabolizable se utilizó la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO), la cual a su vez se estimó a partir de la fibra detergente ácido (FDA). El balance de energía varía durante la lactación, en los primeros días de lactación las vacas consumen menos de lo previsto y producen mayor cantidad de leche; en el segundo tercio de lactación la vaca aumenta su capacidad de consumo, pero la producción empieza a disminuir y en el último tercio debido a los cambios fisiológicos de la gestación, la energía es destinada para este proceso fisiológico, hay menor consumo y menor producción, aunque se proporcione una dieta de buena calidad. Durante la lactación, las vacas comienzan a experimentar un proceso de cambios fisiológicos que determinan las variaciones de sus requerimientos nutricionales, los cuales varían durante el transcurso de esta, para

expresar estos requerimientos se han empleado diferentes sistemas de valoración de la energía (Chamberlain y Wilkinson, 2002).

La vaca en gestación avanzada almacena elevadas cantidades de energía en su organismo, el objetivo es atender al abastecimiento óptimo y formar reservas como grasa de depósito para la lactación inmediata (Burgstaller, 1981), por lo que es de esperarse un aumento en la condición corporal y peso vivo.

10.4. Concentrado

Los resultados del análisis del concentrado coincidieron con los valores que señala la etiqueta, con un contenido de MS de 921 g/kg; PC, 195 g/kg MS; MO, 914.5 g/kg MS; FDN, 232 g/kg MS; FDA, 85.4 g/kg MS; DIVMO, 921 g/kg; y eEM, 14 MJ/kg MS.

La suplementación de las vacas lecheras en pastoreo se utiliza ampliamente y se justifica plenamente en los periodos en los que el forraje disponible no permite cubrir las necesidades del rebaño a corto o a medio plazo. A veces también permite paliar las carencias nutritivas del forraje y aumentar la producción individual de las vacas. La distribución de un alimento complementario durante el pastoreo implica la mayor parte de las veces una reducción de la cantidad de forraje ingerida (efecto sustitución) y un aumento de la cantidad ingerida total (INRA, 2017).

XI. CONCLUSIONES

La evaluación de cuatro gramíneas, una de clima subtropical y tres de clima templado fue realizada mediante la estimación de variables de producción animal y de producción de forraje, con lo cual los objetivos planteados en este trabajo fueron alcanzados en su totalidad.

Con los resultados obtenidos se puede decir que la hipótesis nula planteada al inicio del experimento sobre que no existen diferencias significativas en la producción de forraje, en cuanto a la altura, la composición de forraje, digestibilidad y estimación de la energía metabolizable de las cuatro gramíneas evaluadas (*Festulolium* cv. Spring Green, *Penisetum clandestinum*, *Lolium perenne* cv. Pay-Day y *Festuca arundinacea* cv. TF-33) es rechazada; no considerando dentro de las variables de producción de forraje, la acumulación neta de forraje, para la cual no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

En cuanto a los resultados correspondientes al desempeño animal, se acepta la hipótesis de que el pastoreo de praderas cultivadas con cuatro gramíneas (*Festulolium* cv. Spring Green, *Penisetum clandestinum*, *Lolium perenne* cv. Pay Day y *Festuca arundinacea* cv. TF-33) no muestran diferencias significativas en la producción y composición fisicoquímica de la leche para el pastoreo de vacas lecheras, así como tampoco en el contenido de nitrógeno ureico en leche.

En el rendimiento de leche se presentó un decremento a lo largo del experimento, el cual era de esperarse debido que las vacas se encontraban en lactación tardía. Contrario a lo observado con el peso vivo que fue aumentando paulatinamente y la condición corporal que aumentó justo al final, lo que coincide con el estado fisiológico de las vacas.

El uso de praderas cultivadas con cuatro gramíneas, tres de clima templado (*Festulolium* cv. Spring Green, *Lolium perenne* cv. Pay-Day y *Festuca arundinacea* cv. TF-33) y una de clima tropical (*Penisetum clandestinum*) asociadas con trébol blanco (*Trifolium repens*), para el pastoreo continuo de vacas lecheras, representan una buena opción como estrategia de alimentación. No obstante, debido a las limitaciones de estos sistemas de producción de leche en México, es factible buscar siempre estrategias de alimentación adecuadas considerando una serie de factores como la época de año y el tipo de alimentación tendiente al aprovechamiento de los recursos disponibles, por lo que si bien el pastoreo no es la única estrategia de alimentación a la que se puede recurrir, es una de tantas que pueden ser viables en estos sistemas de producción de leche en pequeña escala.

XII. LITERATURA CITADA

- Ali-Alizadeh M, Ashraf-Jafari, A. (2016): Effect of cold temperature on morphological development and quality characteristics of some population of *Festuca arundinaceae* Schreb. *Acta Agronómica*, 65(1):31-37.
- Álvarez-Álmora EG, Rodríguez-García J, Rodríguez-González RE, Carrillo-Aguirre GA, Avery-Zinn R, Plascencia-Jorquera A, Montaña-Gómez MF, González-Vizcarra VM, Espinoza-Santana S, Aguilar-Sánchez U. (2008): Valor alimenticio comparativo del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*, var. whittet) en dos estaciones de crecimiento con ryegrass (*Lolium multiflorum*) y sudán (*Sorghum sudanense*) ofrecido a novillos Holstein. *Interciencia*, 33(2):135-139.
- Anrique R, Molina X, Alfaro M, Saldaña R. (2014): Composición de alimentos para el ganado bovino. 4ª ed., Imprenta América Ltda, Chile.
- Apraez E, Crespo G, Herrera RS. (2007): Efecto de la aplicación de abonos orgánicos y mineral en el comportamiento de una pradera de Kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoehs) en el Departamento de Nariño, Colombia. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 41(1):75-79.
- AOAC. (1990): Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Vol. 1.15th Ed. Asso. Offic. Anal. Chem. Washington, D.C. pp: 69-88.
- Arriaga-Jordán CM, Albarrán-Portillo B, Espinoza-Ortega A, García-Martínez A, Castelán-Ortega OA. (2002): ON-FARM COMPARISON OF FEEDING STRATEGIES BASED ON FORAGES FOR SMALL-SCALE DAIRY PRODUCTION SYSTEMS IN THE HIGHLANDS OF CENTRAL MEXICO. *Cambridge University Press*, 38:375-388.
- Bargo F. (2002): Suplementación en pastoreo: conclusiones sobre las últimas experiencias en el mundo. Argentina.

<http://www.agro.uba.ar/sites/default/files/catedras/bargo.pdf>. (10 de marzo de 2018).

Bennett A, Lhoste F, Crook J, Phelan J. (2006): Futuro de la producción lechera en pequeña escala. En: Informe pecuario 2006. Editado por McLeod A, Crook J, Forlano N, Ciarlantini C., 51-81. FAO, Roma, Italia. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a0255s/a0255s05.pdf> (4 de octubre de 2017).

Burgstaller G. (1981): Alimentación práctica del ganado vacuno. Acribia. Zaragoza, España.

Cameron L, Chagunda MGG, Roberts DJ, Lee MA (2018): A comparison of milk yields and methane production from three contrasting high-yielding dairy cattle feeding regimes: Cut-and-carry, partial grazing and total mixed ration. *Grass and Forage Science*. 1-9.

Chamberlain AT y Wilkinson JM. (2002). Alimentación de la vaca lechera. Editorial Acribia. Zaragoza, España.

COFOCALEC-Consejo para el Fomento de la Calidad de Leche y Sus Derivados A.C. (2004): NMX-700-COFOCALEC-2004. Sistema producto leche alimento lácteo leche cruda de vaca especificaciones fisicoquímicas, sanitarias y métodos de prueba. Ciudad de México, México.

Dale AJ, Laidlaw AS, McGettrick S, Gordon A, Ferris CP. (2017): The effect of grazing intensity on the performance of highyielding dairy cows. *Grass and Forage Science*, 2017:1-13.

Díaz M, Echenique V, Schrauf G, Cardone S, Polci P, Lutz E, Spangenberg G. (2004): Biotecnología y mejoramiento genético de especies forrajeras. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 33(3):77-104.

- Dini Y, Gere J, Briano C, Manetti M, Juliarena P, Picasso V, Gratton R, Astigarraga L. (2012): Methane Emission and Milk Production of Dairy Cows Grazing Pastures Rich in Legumes or Rich in Grasses in Uruguay. *Animals*, 2012(2): 288-300.
- Espinoza-Ortega A, Espinosa-Ayala E, Bastida-López J, Castañeda-Martínez T, Arriaga Jordán CM. (2007): Small-scale dairy farming in the highlands of central Mexico: technical, economic and social aspects and their impact on poverty. *Experimental Agriculture*, 43:241-256.
- Fadul-Pacheco I, Wattiaux MA, Espinoza-Ortega A, Sánchez-Vera E, Arriaga-Jordan CM. (2013): Evaluation of sustainability of smallholder dairy production systems in the highlands of Mexico during the rainy season. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 37:882-901.
- Florián-Lescano, R. (2009): Establecimiento de la asociación Ryegrass (*Lolium multiflorum*) Trébol Blanco (*Trifolium repens*): Revisión bibliográfica. Seminario Avanzado de Investigación Cajamarca 2008-2009, Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Medicina Veterinaria, Perú.
- FAO. (2017): Producción lechera, Roma. <http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/produccion-lechera/es/#.WcK4ubLyh0w> (4 de octubre de 2017).
- Gámez CA y Fernández M. (2018): Nitrógeno ureico en leche y el balance proteico en raciones de vacas lecheras. Perú. <http://www.actualidadganadera.com/articulos/nitrogeno-ureico-en-leche-y-el-balance-proteico-en-raciones-de-vacas-lecheras.html> (19 de marzo de 2018)
- Grigera J, Bargo F. (2005): Evaluación del estado corporal en vacas lecheras, Argentina. http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/cria_condicion_corporal/45-cc_lecheras.pdf (10 de octubre de 2017).

- Hernández-Mendo O, Pérez-Pérez J, Martínez-Hernández PA, Herrera-Haro JG, Mendoza-Martínez GD, Hernández-Garay A. (2000): Pastoreo de Kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochts.) por borregos en crecimiento a diferentes asignaciones de forraje. *Agrociencia*, 34(2):127-134.
- Hodgson, J. (1994): Manejo de pastos, teoría y práctica. Diana, México.
- INAFED. (2017): Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México, México. <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM15mexico/index.html> (29 de septiembre de 2017).
- INRA. (2007): Alimentación de bovinos, ovinos y caprinos: Necesidades de los animales-Valores de los alimentos. Acribia S.A., España.
- Insua JR, Di Marco ON, Agnusdei MG. (2013): Calidad nutritiva de láminas de festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb) en rebrotes de verano y otoño. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 39(3): 267-272.
- Jaimes-Cruz, LJ, Correa-Cardona HJ. (2016): Balance de nitrógeno, fósforo y potasio en vacas Holstein pastando praderas de kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) en el norte de Antioquia. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 11(2): 18-41.
- Lemus-Ramírez V, García-Muñiz J, Lugo-León S, Valencia-Gutiérrez E, Villagrán-Vélez B. (2002): Desempeño de una pradera irrigada en clima templado, establecida para el pastoreo con bovinos lecheros, *Veterinaria México*, 33 (1):11-26.
- Marín-Santana MN, Torres-Lemus E. (2017): Evaluación de heno de triticale (*Triticosecale Wittmack*) como complemento para vacas lecheras bajo pastoreo de praderas de ryegrass (*Lolium perenne* cv. *Bargala*) o festuca alta (*Festuca arundinacea*) en sistemas de producción de leche en pequeña escala en el noroeste del Estado de México. Tesis de licenciatura, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.

- México Calidad Suprema. (2005): PC-031-2005 Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México Calidad Suprema en leche. México. http://www.mexicocalidadsuprema.org/assets/galeria/PC_031_2005_Leche.pdf (19 de marzo de 2018).
- Mozzoni B. (2007): Festuca y festucosis: Conceptos y criterios. Argentina. http://www.produccion-animal.com.ar/sanidad_intoxicaciones_metabolicos/intoxicaciones/23-festuca_y_festucosis.pdf (2 de octubre de 2017)
- Negri ML. (2005): el pH y la acidez de la leche. Argentina. <http://www.aprocal.com.ar/wp-content/uploads/pH-y-acidez-en-leche2.pdf> (10 de marzo de 2018)
- Olson GI, Smith SR, Phillips TD, Lacefield GD. (2014): 2014 annual and perennial ryegrass and festulolium report. University of Kentucky College of Agriculture, Food and Environment, Lexington KY.
- Ortega F, Torres A, Moscoso C, Santana G, Melo M. (2013): Gramíneas forrajeras perennes para el sur de Chile. Evaluación de cultivares 2010-13. Instituto de Investigaciones Pecuarias, Boletín INIA, 243.
- Pincay-Figueroa PE, Heredia-Nava D, Rayas-Amor AA, Martínez-Castañeda FE, Vicente-Mainar F, Martínez-Fernández A, Arriaga-Jordán CM. (2013): Sustentabilidad económica de sistemas de producción de leche en pequeña escala: Efecto del pastoreo de praderas sobre costos de alimentación. En: La ganadería en la seguridad alimentaria de las familias campesinas. Editado por: Nava-Moreno B, 239-245, Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Pincay-Figueroa PE, López-González F, Velarde-Guillén J, Heredia-Nava D, Martínez-Castañeda FE, Vicente F, Martínez-Fernández, Arriaga-Jordán CM. (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.

Pérez-Ramírez E, Peyraud JL, Delagarde R. (2012): N-alkanes v. ytterbium/faecal index as two methods for estimating herbage intake of dairy cows fed on diets differing in the herbage: maize silage ratio and feeding level. *Animal*, 6: 232-244.

Plata-Reyes DA, Gómez-Miranda A, López-González F, Domínguez-Vara IA y Arriaga-Jordán C.M. (2016): Evaluación de *Bromus catharticus* Vahl como recurso para praderas en Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala en el Altiplano Central de México. En: *Innovación Sostenible en Pastos: Hacia una Agricultura de Respuesta al Cambio Climático*. Editado por: Báez Bernal M.D., Campo Ramírez L., Pereira Crespo S., Bande Castro M.J., López Díaz J. E. (Eds). 291-296. Sociedad Española para el Estudios de los Pastos, Galicia, España.

Pozo-Leyva D, Olea-Pérez R, Balderas-Hernández P, Arriaga-Jordán CM. (2017): Balance de nitrógeno en sistemas de producción de leche en pequeña escala en el Altiplano Central mexicano. En: *Estudios sociales y económicos de la producción pecuaria*. Editado por: Cavalloti-Vázquez B.A., Cesín-Vargas J.A., Ramírez-Valverde B. (Eds). 65-78. Universidad Autónoma de Chapingo, México.

Pulido-Fuenzalida R, Parga-Mate de Luna J, Lanuza-Ayerdi F, Balocchi-Leonelli O. (2011): *Suplementación de vacas lecheras a pastoreo*. Imprenta América, Chile.

Riveros E, Argamentaría A. (1987): Métodos enzimáticos de predicción de la digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica de forrajes. *Avances en Producción Animal*, 12: 59–75.

Sainz-Sánchez PA, López-González F, Estrada-Flores JG, Martínez-García CG, Arriaga-Jordán CM. (2017): Effect of stocking rate and supplementation on performance of

dairy cows grazing native grassland in small-scale systems in the highlands of central Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 49:179–186.

Teuber N., Balocchi O. y Parga J. (2007): Manejo del pastoreo. America. Osorno, Chile.

Shimada-Miyasaka A (2009): Nutrición animal. Edición 2ª. Trillas. México.

SIAP. (2015): Panorama de la lechería en México, México. http://infosiap.siap.gob.mx/opt/boletlech/Brochure%20leche_Septiembre2016.pdf (4 de octubre de 2017)

SIAP (2016): Boletín de leche abril-junio 2016, México. http://infosiap.siap.gob.mx/opt/boletlech/B_de_Leche_abril-junio_2016%20.pdf (4 de octubre de 2017).

Soto C, Valencia A, Galvis RD, Correa HJ. (2005): Efecto de la edad de corte y del nivel de fertilización nitrogenada sobre el valor energético y proteico del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18(1):17-26.

Thomas HM, Morgan WG, Humphreys MW. (2003): Designing grasses with a future – combining the attributes of Lolium and Festuca. *Euphytica*, 133: 19–26.

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