



## COMPOSICIÓN BOTÁNICA Y EVALUACIÓN NUTRICIONAL *IN VITRO* DE PASTO KIKUYO COMPARADO CON GRAMÍNEAS DE CLIMA TEMPLADO †

### [BOTANICAL COMPOSITION AND *IN VITRO* NUTRITIONAL EVALUATION OF KIKUYU GRASS COMPARED WITH TEMPERATE PASTURES]

Dalia Andrea Plata-Reyes, Julieta Gertrudis Estrada-Flores,  
Felipe López-González and Carlos Manuel Arriaga-Jordán\*

*Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), Universidad Autónoma del Estado de México, Campus UAEM. El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, México, CP 50090. Emails: dplatar144@alumno.uaemex.mx; jgestradaf@uaemex.mx; flopezg@uaemex.mx; cmarriagaj@uaemex.mx*  
\*Corresponding Autor

#### SUMMARY

**Background:** Intensive continuous grazing of temperate grass and legume pastures has been a feeding strategy adopted in small-scale dairy systems (SSDS) in the highlands of central Mexico that reduces costs and increases profitability of farms. However, temperate grasses have low persistency due to agroclimatic and management conditions, so that pastures are invaded by kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus*), a sub-tropical grass that may be a valuable forage resource in these systems. There are not many studies in Mexico on kikuyu grass pastures and on the relationship between botanical composition, nutritional value and ruminal fermentation parameters, important aspects for their inclusion in feeding strategies for dairy cattle. **Objective:** The objective was to determine the botanical composition and to assess the *in vitro* digestibility of dry matter (DM), organic matter (OM), and neutral detergent fibre (NDF), and to characterize the kinetics of *in vitro* ruminal fermentation of a pasture based on with kikuyu grass (KY) in comparison to pastures based on festulolium cv. Spring Green (FL), tall fescue cv. TF-33 (TF), and perennial ryegrass cv. Pay Day (RG), all associated with white clover. **Methodology:** There were four sampling periods every 14 days. On the last day of each period, five random samples in each pasture were cut to ground level to determine botanical composition by manual separation, and 200g samples from each pasture taken by simulated grazing to determine digestibilities and the *in vitro* fermentation dynamics. Statistical analyses were following a split-plot model. **Results:** There was a higher proportion of grasses in KY and a better *in vitro* nutritional value for RG, related to a higher content of structural carbohydrates in KY, being a subtropical grass compared to temperate pastures with lower content of cell walls. **Results:** There was a higher proportion ( $P<0.05$ ) of live grass in KY. There were no differences ( $P>0.05$ ) among pastures for *in vitro* nutritional value. There were differences ( $P<0.05$ ) among pastures and periods for the insoluble fraction fermentation rate ( $C_B$ ) and for the interaction between pastures and periods for gas production in 4.0 h of the soluble fraction (A) and the soluble carbohydrate fermentation rate ( $C_A$ ), but no differences between pastures, periods or the interaction ( $P>0.05$ ) for other parameters of ruminal fermentation (lag time and total gas production). **Implications:** Pastures of kikuyu grass associated with white clover have a similar *in vitro* nutritional value as pastures of temperate grasses representing a valuable forage resource for SSDS. **Conclusion:** In spite of differences in some *in vitro* ruminal fermentation parameters, the *in vitro* nutritional value of kikuyu grass pastures associated with white clover is similar to pastures based on temperate grasses with white clover. **Keywords:** Gas production kinetics; festulolium; kikuyu grass; perennial ryegrass; tall fescue; nutritional value.

#### RESUMEN

**Antecedentes:** El pastoreo continuo intensivo de praderas basadas en gramíneas y leguminosas de clima templado ha sido una estrategia de alimentación adoptada en los sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) en los valles altos del centro de México, lo que permite reducir costos y aumentar la rentabilidad de las unidades de producción. Sin embargo, las gramíneas de clima templado tienen baja persistencia por las condiciones agroclimáticas y de manejo, y las praderas son invadidas por el pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*), una gramínea subtropical que puede representar un recurso forrajero valioso. Sin embargo, no existen muchos trabajos en México sobre praderas de pasto kikuyo específicamente sobre la relación entre la composición botánica, el valor nutritivo y los parámetros de

† Submitted September 15, 2020 – Accepted May 14, 2021. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License.  
ISSN: 1870-0462.

fermentación ruminal, aspectos importantes para su inclusión como parte de las estrategias de alimentación del ganado lechero. **Objetivo:** Determinar la composición botánica y evaluar *in vitro* la digestibilidad de la materia seca (DIVMS), de la materia orgánica (DIVMO) y de la fibra detergente neutro (DIVFDN), estimar el contenido de energía metabolizable además de caracterizar la cinética de fermentación ruminal *in vitro* del forraje de una pradera de pasto kikuyo (KY) en comparación con el forraje de praderas cultivadas con festulolium cv. Spring Green (FL), festuca alta cv. TF-33 (TF), y ryegrass perenne cv. Pay Day (RG), todas en asociación con trébol blanco. **Metodología:** Se evaluaron cuatro praderas durante cuatro periodos de muestreo cada 14 días. El diseño experimental fue un arreglo en parcelas divididas. Al final de cada periodo se cosecharon a ras de suelo cinco muestras de forraje en cada pradera para determinar la composición botánica, y se tomaron muestras de 200 g de forraje usando la técnica de pastoreo simulado (Wayne, 1964) para posteriormente incubar las muestras mediante la técnica de cinética de producción de gas hasta determinar la digestibilidad *in vitro* de MS, MO y FDN. Las variables analizadas fueron: la composición botánica, DIVMS, DIVMO, DIVFND, la energía metabolizable (EM) y los parámetros de fermentación ruminal. **Resultados:** Se observó mayor proporción ( $P < 0.05$ ) de gramíneas vivas en la pradera KY. No existieron diferencias ( $P > 0.05$ ) entre el forraje de las praderas de las gramíneas evaluadas para las variables relacionadas con el valor nutricional *in vitro* de la DIVMS, DIVMO, DIVFDN y para la EM. Se observaron diferencias ( $P < 0.05$ ) entre el forraje de las praderas de distintas gramíneas y los periodos de muestreo en la tasa de fermentación de la fracción insoluble ( $C_B$ ) y para la interacción entre praderas y periodos para la producción de gas a 4.0 h de incubación de la fracción soluble (A), así como, en la tasa de fermentación de carbohidratos solubles ( $C_A$ ), pero no hubo diferencias entre praderas, periodos y la interacción de ambos factores ( $P > 0.05$ ) en los demás parámetros de fermentación ruminal (tiempo lag y producción total de gas). **Implicaciones:** El pasto kikuyo asociado con trébol blanco tiene valor nutricional *in vitro* similar a las gramíneas templadas FL, TF y RG, y constituye un recurso forrajero valioso para SPLPE. **Conclusión:** El valor nutricional *in vitro* de pasto kikuyo asociado con trébol blanco es similar al de praderas basadas en gramíneas de clima templado con trébol blanco.

**Palabras clave:** Cinética de producción de gas; festulolium; kikuyo; ryegrass perenne; festuca alta; valor nutricional.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción del ganado basados en pastoreo reducen los costos de alimentación. En sistemas de producción de leche en pequeña escala en los valles altos del centro de México, el pastoreo 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*) indicaron que se optimizan los recursos de las unidades de producción, reduciendo costos e incrementado su rentabilidad (Pincay-Figueroa *et al.*, 2016; Prospero-Bernal *et al.*, 2017; López-González *et al.*, 2020).

Sin embargo, las praderas con gramíneas de clima templado tienen baja persistencia en estos sistemas (dos o tres años solamente) como consecuencia del régimen agroclimático con una estación seca con altas tasas de evapotranspiración y poca disponibilidad de agua de riego, así como por la presencia de una carga animal alta. 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 (Plata-Reyes *et al.* 2018). El pasto kikuyo se ha diseminado en muchas partes del mundo, donde, favorecido por su crecimiento estolonífero agresivo, tiende a dominar en las praderas (García *et al.*, 2014). Usualmente, este pasto es utilizado para el pastoreo del ganado sin

conocer suficientemente sus propiedades nutricionales (Plata-Reyes *et al.*, 2018; Marín-Santana *et al.*, 2020; Plata-Reyes *et al.*, 2021).

Como otra alternativa, en México hay interés por evaluar variedades de festulolium, un grupo de híbridos obtenidos del cruzamiento entre ryegrass perenne o anual y especies de festuca, que se postula tiene el alto valor nutricional del ryegrass, en conjunto con la rusticidad y resistencia a condiciones extremas de las festucas.

La composición botánica de las praderas es uno de los aspectos a considerar debido a que las especies forrajeras presentes y su morfología repercuten directamente en el rendimiento de materia seca, la calidad del forraje, el consumo voluntario, así como la producción y calidad de la leche de las vacas en pastoreo (Botha *et al.*, 2009).

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la composición botánica, la digestibilidad y la cinética de fermentación ruminal a través de la técnica de producción de gas *in vitro* del forraje procedente de una pradera establecida con pasto kikuyo y del forraje proveniente de praderas cultivadas con gramíneas de clima templado durante la época de lluvias, en sistemas de producción de leche a pequeña escala en los valles altos del Noroeste del Estado de México.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Localización del sitio de estudio

El estudio se realizó en dos unidades de producción de leche a pequeña escala ubicadas en el municipio de Aculco en el Estado de México, entre 20° 06' y 20° 17' N y entre 99° 40' y 100° 00' W y altitud media de 2440 metros sobre el nivel del mar. El clima es clasificado como subhúmedo templado con estación lluviosa de mayo a octubre. La precipitación anual va de 700 a 1000 mm, con temperatura media anual de 13.5 °C y presencia de heladas de noviembre a febrero (Celis-Álvarez *et al.*, 2016).

### Desarrollo experimental y tratamientos

Se evaluaron cuatro praderas. Una pradera de la gramínea subtropical kikuyo (*Cenchrus clandestinus* antes *Pennisetum clandestinum*) (KY), y las otras de tres de gramíneas de clima templado: festulolium (*Lolium perenne/L. multiflorum. X Festuca pratense*) cv. Spring Green (FL), festuca alta (*Lolium arundinaceum* antes *Festuca arundinacea*) cv. TF-33 (TF), y ryegrass perenne (*Lolium perenne*) cv. Pay Day (RG), todas en asociación con trébol blanco (*Trifolium repens*) cv. Ladino.

Se recolectaron las muestras de composición botánica y pastoreo simulado como en trabajos anteriores Carrillo-Hernández *et al.* (2020) y Plata-Reyes *et al.* (2021). Los factores de análisis fueron las parcelas mayores (praderas) y las parcelas menores (periodos experimentales).

La recolección de las muestras se realizó de agosto a octubre durante el último tercio de la época de lluvias. Se realizaron cuatro muestreos de forraje en intervalos de 14 días (Pérez-Ramírez *et al.*, 2012). El experimento se realizó siguiendo las pautas de la investigación participativa rural (Conroy, 2005).

El diseño experimental fue de parcelas divididas, y las variables evaluadas fueron la composición botánica, la digestibilidad *in vitro* de la MS, MO, FDN, el contenido de energía metabolizable y la cinética de fermentación ruminal mediante la técnica de producción de gas *in vitro* del forraje de las praderas evaluadas.

### VARIABLES EVALUADAS

#### Composición botánica

Se determinó mediante la recolección al azar de cinco muestras por pradera de 50g de forraje cortadas con tijeras a ras de suelo, de acuerdo con Dennis *et al.* (2015). Cada muestra de forraje colectado estuvo conformada por diferentes especies vegetales

presentes en la pradera, las cuales se separaron manualmente y fueron clasificadas como gramíneas, leguminosas, material vivo (verde) y muerto (seco), así como otras plantas. Ya separadas las plantas fueron colocadas en una estufa de secado a 55°C durante 48 h para estimar las proporciones de cada grupo de plantas sobre la base de materia seca (g/100g de MS).

#### Cinética de fermentación ruminal y digestibilidad *in vitro*

Se recolectaron muestras de 200g de forraje mediante la técnica de pastoreo simulado (Wayne, 1964) en diferentes sitios de las praderas evaluadas y fueron colocadas en una estufa de secado a 55°C hasta peso constante posteriormente fueron molidas a 2.0 mm y procesadas para determinar la digestibilidad, energía metabolizable y cinética de fermentación ruminal mediante la técnica de producción de gas *in vitro*. Así, la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS), de la materia orgánica (DIVMO), y de la fibra detergente neutro (DIVFDN) se determinaron mediante la técnica de producción de gas *in vitro* descrita por Theodorou *et al.* (1994). El contenido de Energía Metabolizable (EM) en los forrajes, expresada en MJ EM/kg MS, se calculó a partir de la ecuación propuesta por CSIRO (2007):

$EM (MJ EM/kg MS) = 0.172 DIVMS - 1.707$ ; donde: DIVMS, digestibilidad *in vitro* de la materia seca.

Para determinar las variables de la cinética de fermentación ruminal del forraje de las praderas se utilizó líquido ruminal de dos vacas fistuladas a las cuales se les ofreció una dieta compuesta de 80% forraje y 20% de concentrado comercial dos veces al día. Con base en el procedimiento propuesto por Theodorou *et al.* (1994), se pesaron  $990 \pm 0.01$  mg de muestras del forraje seco procedente de cada pradera colocándose en botellas de vidrio y tapa de crimpado con capacidad de 160 ml, añadiéndose 90 ml de solución amortiguadora y 10 ml de líquido ruminal en una proporción de 9:1 (vol/vol), previamente gaseada mediante burbujeo con CO<sub>2</sub> por 20 minutos para generar anaerobiosis.

Posteriormente, las muestras se incubaron a 39°C y la producción de gas fue medida cada hora usando un transductor de presión (DO Delta Ohm modelo 9704) durante 120 horas a partir del inicio de la incubación (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 16, 20, 28, 36, 44, 52, 60, 72, 84, 96 y 120 h). Cada muestra fue analizada por cuatuplicado con incubaciones de 120 horas en tres corridas repetidas en periodos diferentes.

Después de 120 horas de incubación los residuos de cada muestra fueron analizados para determinar la digestibilidad de la MS, MO y FDN (Aragadvay-

Yungán *et al.*, 2015; Celis-Álvarez *et al.*, 2017). La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) se determinó a partir del sustrato residual de dos frascos removido con agua destilada y filtrado en crisoles Schott Duran (#1) que posteriormente fueron llevados a la mufla a 105°C por una hora. Para el caso de la digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro (DIVFDN) los residuos de los otros dos frascos se removieron con 50 ml de solución FDN, posteriormente se colocaron en autoclave a 105°C durante una hora, se filtraron en crisoles Schott Duran (#1) y fueron llevados a la mufla a 450°C durante 4 horas. El cálculo de la DIVMS se realizó por diferencia de peso entre la MS de la muestra inicial y la MS del residuo de producción de gas, mientras que la DIVFDN se calculó usando los valores de digestibilidad de FDN de la muestra ya incubada entre el contenido de FDN de la muestra inicial. El contenido de cenizas de las muestras después de la incubación a 120 h se utilizó para determinar la materia orgánica (MO) residual y la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO) mediante la microtécnica propuesta por Pell y Schofield (1993).

Se estimó el volumen total de gas (ml) mediante regresión lineal con la presión de gas registrada en las botellas y los volúmenes de aire inyectados. Los valores de producción de gas fueron corregidos por la cantidad de gas producida en los blancos y el acumulado de gas liberado de los frascos con sustrato por hora.

Los valores de producción de gas se ajustaron al modelo de Jessop y Herrero (1996) usando el algoritmo Marquart en el programa Grafit (Grafit, 1992; Aragadvay-Yungán *et al.*, 2015; Celis-Álvarez *et al.*, 2017). El modelo matemático para el ajuste de la cinética de fermentación ruminal utilizado fue el siguiente:

$$PG = Ax(1 - \exp(-C_A x t)) + Bx(1 - \exp(-C_B x(t - lag)))x(t > lag)x^{-1}$$

dónde: **A**= Producción de gas a las cuatro horas (ml); **B**= Producción potencial de gas (ml), **C<sub>A</sub>**= Tasa de producción de gas de la fracción A (por hora); **C<sub>B</sub>**= Tasa de producción de gas de la fracción B (por hora); **Fase lag**= Tiempo antes de comenzar la fermentación de la fracción FDN (h); **t**= tiempo de incubación.

#### Análisis estadístico

El análisis estadístico de las variables de composición botánica, digestibilidad *in vitro* de la MS, MO, FDN, EM y los parámetros de cinética de fermentación ruminal fueron procesados en el programa para análisis estadístico Minitab V14 (2000), mediante un análisis

de varianza en un arreglo de parcelas divididas aleatorio propuesto por Kaps y Lamberson (2004) de acuerdo con el modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + r_i + T_j + E_{ij} + p_k + T p_{ik} + T r_{jl} + e_{ijk}$$

dónde: **Y<sub>ijk</sub>** = Variable respuesta; **μ**= Media general; **r** = Efecto de las repeticiones de muestreo aleatorio de praderas **i**= (1,...,5); **T**= Efecto de los cuatro tratamientos de tipo de pradera (Parcela Mayor ) **j**= (FL, TF, RG y KY); **E**= Término del error para las Parcelas Mayores (interacción **r**\***T**); **p**= Efecto de los cuatro periodos de muestreo (parcela menor) **k**= (1, 2, 3 y 4); **Tp**= Efecto de la interacción entre Tratamientos y periodos de muestreo; **e**= Término residual para la variación del experimento.

Se aplicó la prueba de Tukey para identificar diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los promedios de las variables composición botánica, digestibilidad *in vitro*, energía metabolizable y cinética de fermentación ruminal de los forrajes provenientes de las praderas experimentales.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 presenta los resultados de composición botánica del forraje de las praderas. Solo existieron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre las proporciones de gramíneas vivas y gramíneas muertas, no existiendo diferencias ( $P > 0.05$ ) para las demás variables analizadas. En el contenido de gramíneas vivas, la interacción entre los tipos de pradera y los periodos de muestreo fue significativa ( $P < 0.05$ ) observando que la pradera de pasto kikuyo (KY) tuvo el mayor contenido de gramínea viva en los periodos de muestreo 1, 2 y 3, siendo el contenido de gramíneas vivas mayor en ryegrass perenne cv Pay Day (RG) en el periodo de muestreo 4. Consistentemente, a lo largo de los cuatro periodos de muestreo, la pradera de festuca alta cv. TF-33 (TF) presentó menores proporciones de gramíneas vivas con una media de 46.94 g/100 g MS.

De manera concomitante, las diferencias en el contenido de gramíneas muertas entre las praderas fueron altamente significativas ( $P < 0.001$ ), pero no entre periodos y en las interacciones. Consistentemente, el contenido de gramíneas muertas en la pradera KY fue menor mientras que la pradera TF presentó el mayor contenido de gramíneas muertas entre las cuatro praderas evaluadas.

No se observaron diferencias en el contenido de leguminosas vivas (trébol blanco) entre las praderas, con un contenido promedio de 11.4 g/100 g MS.

**Tabla 1. Proporción de gramíneas vivas, gramíneas muertas, leguminosas vivas, leguminosas muertas en praderas (g/100g de MS) de diferentes gramíneas en distintos periodos de muestreo (P1, P2, P3, P4).**

Variable	P1	P2	P3	P4	Media Tx	EEMPM	EEMPm
<b>Gramíneas</b>							
FL	86.50	92.34	82.00	80.06	85.24	7.52 <sup>NS</sup>	1.81 <sup>NS</sup>
KY	96.91	95.90	98.01	80.17	92.75		
RG	100.00	92.54	93.69	98.07	96.07		
TF	76.00	74.40	82.40	84.53	79.33		
Media Periodos	89.86	88.79	89.04	85.71			
Interacción EEMPM*Pm							1.60 <sup>NS</sup>
<b>Leguminosas</b>							
FL	14.35	12.85	22.20	28.87	14.76	7.52 <sup>NS</sup>	1.82 <sup>NS</sup>
KY	3.09	4.10	1.99	19.83	7.25		
RG	0.00	7.46	6.31	1.93	3.93		
TF	24.00	25.60	17.60	15.47	20.67		
Media Periodos	10.14	11.21	10.96	14.29			
Interacción EEMPM*Pm							1.60 <sup>NS</sup>
<b>Gramíneas vivas</b>							
FL	72.15	79.49	59.85	51.19	65.67	17.48 <sup>***</sup>	5.10 <sup>NS</sup>
KY	86.08	93.94	87.72	70.57	84.58		
RG	79.71	80.90	83.03	86.12	82.44		
TF	41.90	42.75	60.10	43.05	46.94		
Media Periodos	69.95	74.27	72.68	62.73			
Interacción EEMPM*Pm							2.22 <sup>*</sup>
<b>Gramíneas muertas</b>							
FL	14.35	12.85	24.84	28.87	19.57	10.39 <sup>***</sup>	3.76 <sup>NS</sup>
KY	10.83	1.96	10.29	9.60	8.17		
RG	20.29	11.63	10.66	11.95	13.63		
TF	34.16	31.64	22.28	41.48	32.39		
Media Periodos	19.91	14.52	16.36	22.98			
Interacción EEMPM*Pm							1.43 <sup>NS</sup>
<b>Leguminosas vivas</b>							
FL	13.50	7.66	15.30	19.94	14.10	23.88 <sup>NS</sup>	18.44 <sup>NS</sup>
KY	0.88	4.10	1.99	19.83	6.70		
RG	0.00	7.46	6.310	1.93	3.93		
TF	24.00	25.60	17.60	15.47	20.67		
Media Periodos	9.59	11.21	10.30	14.29			
Interacción EEMPM*Pm							1.60 <sup>NS</sup>
<b>Leguminosas muertas</b>							
FL	0.00	0.00	2.65	0.00	0.66	0.35 <sup>NS</sup>	0.35 <sup>NS</sup>
KY	2.21	0.00	0.00	0.00	0.55		
RG	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
TF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Media Periodos	0.55	0.00	0.66	0.00			
Interacción EEMPM*Pm							0.22 <sup>NS</sup>

**FL**= *Festulolium* cv. Spring Green; **KY**= *Cenchrus clandestinus*; **RG**= *Lolium perenne* cv. Pay Day; **TF**= *Lolium arundinaceum* cv. TF-33; **EEMPM**= Error estándar de la media parcela mayor; **EEMPm**= Error estándar de la media parcela menor; NS= (P>0.05); \*P<0.05; \*\*P<0.01; \*\*\*P<0.001

La proporción de material vivo y muerto en la pradera al inicio y al final de un pastoreo, la composición morfológica y el porcentaje de trébol en las praderas, son factores que determinan el valor nutricional del forraje disponible (Hopkins, 2000). Las cuatro praderas evaluadas presentaron adecuada composición botánica: la pradera de festuca alta (TF) tuvo menor

contenido de gramíneas vivas. No obstante, esa disminución se compensó con mayor contenido (aunque no estadísticamente significativo) de trébol vivo, representando éste el 68% del forraje verde disponible. Estos resultados contrastan con lo reportado por Hernández-Mendo *et al.* (2000) quienes reportaron 41.9 y 64.7% de material muerto en praderas

**Tabla 2. Promedios de digestibilidad *in vitro* (g/kg de MS) y energía metabolizable (MJ EM kg<sup>-1</sup> MS) del forraje de praderas experimentales con diferentes gramíneas en distintos periodos de muestreo (P1, P2, P3, P4).**

Variable	P1	P2	P3	P4	Media Tx	EEMPM	EEMPm
<b>DIVMS</b>							
FL	745.40	665.10	701.10	694.50	701.50	17.90 <sup>NS</sup>	24.60 <sup>NS</sup>
KY	679.90	714.10	674.96	727.23	700.70		
RG	770.10	700.77	732.20	775.00	744.50		
TF	713.30	674.10	705.30	766.20	715.60		
Media Periodos	731.50	688.50	706.00	741.90			
Interacción EEMPM*Pm							5.85 <sup>NS</sup>
<b>DIVMO</b>							
FL	641.52	609.90	645.80	622.90	630.00	27.25 <sup>NS</sup>	16.21 <sup>NS</sup>
KY	605.46	655.30	582.12	679.00	637.90		
RG	600.20	614.27	635.00	647.10	624.20		
TF	652.70	598.40	579.30	547.80	595.90		
Media Periodos	629.40	619.50	616.50	622.20			
Interacción EEMPM*Pm							5.52 <sup>NS</sup>
<b>DIVFDN</b>							
FL	669.30	629.80	605.00	599.10	625.80	53.88 <sup>NS</sup>	17.47 <sup>NS</sup>
KY	772.30	731.60	698.20	777.00	744.80		
RG	720.60	696.00	653.60	661.10	682.80		
TF	617.10	604.10	658.80	671.30	637.80		
Media Periodos	694.80	665.40	653.90	677.10			
Interacción EEMPM*Pm							8.15 <sup>NS</sup>
<b>EM (MJ EM/kg MS)</b>							
FL	11.11	9.73	10.35	10.24	10.36	0.11 <sup>NS</sup>	0.42 <sup>NS</sup>
KY	9.99	10.57	9.90	10.80	10.34		
RG	11.54	10.35	10.89	11.62	11.10		
TF	10.56	9.88	10.42	11.76	10.60		
Media Periodos	10.80	10.13	10.39	11.10			
Interacción EEMPM*Pm							0.18 <sup>NS</sup>

**DIVMS**= Digestibilidad *in vitro* de la Materia Seca; **DIVMO**= Digestibilidad *in vitro* de la Materia Orgánica; **DIVFDN**= Digestibilidad *in vitro* de la Fibra Detergente Neutro; **EM**= Energía Metabolizable; **FL**= *Festulolium* cv. Spring Green; **KY**= *Cenchrus clandestinus*; **RG**= *Lolium perenne* cv. Pay Day; **TF**= *Lolium arundinaceum* cv. TF-33; **EEMP**= Error Estándar de la Media Parcela Mayor; **EEMPm**= Error estándar de la media parcela menor; **NS**= (P>0.05); \*P<0.05; \*\*P<0.01; \*\*\*P <0.001

de kikuyo bajo pastoreo rotacional con ovinos en el oriente del Estado de México. La diferencia puede deberse a que en el experimento reportado por Hernández-Mendo *et al.* (2000) la presión de pastoreo fue baja, con amplia disponibilidad de forraje, mientras que en el experimento aquí reportado la presión de pastoreo por las vacas lecheras en pastoreo continuo fue alta, con carga animal de 3.0 vacas ha<sup>-1</sup> (Plata-Reyes *et al.*, 2018).

La Tabla 2 presenta los resultados correspondientes a la digestibilidad *in vitro* de MS, MO, FDN y estimación del contenido de energía metabolizable de los forrajes provenientes de las cuatro praderas experimentales. No hubo, diferencias significativas (P>0.05) para ninguna de las variables evaluadas. Destaca el alto valor nutricional de KY, pradera basada en una gramínea subtropical C4 que generalmente

tiene digestibilidades menores a las gramíneas C3 de clima templado, dado que las paredes celulares de las gramíneas C4 son más lignificadas y menos digestibles que las gramíneas C3 (Collins y Fritz, 2003).

Los valores de digestibilidad aquí reportados son superiores a los registrados por Hernández-Mendo *et al.* (2000) para praderas de kikuyo en pastoreo con ovinos, seguramente, por el mayor contenido de tejido muerto en el forraje de esas praderas dadas por las altas asignaciones de forraje evaluadas. Por otro lado, Rayas-Amor *et al.* (2012), evaluando forrajes locales en el Valle de Toluca, reportaron valores de digestibilidad de la materia orgánica entre 730 g kg<sup>-1</sup> MS en el primer periodo de evaluación del mes de julio durante la época de lluvias, y 646 g kg<sup>-1</sup> MS en el segundo periodo de muestreo en épocas del año similares a las de la presente investigación. Esos valores

**Tabla 3. Promedios de los parámetros de producción de gas *in vitro* debido a la fermentación del forraje de praderas establecidas con diferentes gramíneas evaluadas en cuatro periodos de muestreo (P1, P2, P3, P4).**

Variable	P1	P2	P3	P4	Media Tx	EEMPM	EEMPm
<b>A (ml gas g<sup>-1</sup> MS)</b>							
FL	26.37	42.60	17.70	11.23	24.46	4.20 <sup>NS</sup>	5.67 <sup>NS</sup>
KY	19.60	19.55	18.21	10.85	16.30		
RG	17.41	15.97	10.32	19.76	15.87		
TF	43.90	12.39	12.80	17.71	21.71		
Media Periodos	26.82	22.62	14.76	14.89			
Interacción EEMPM*Pm							2.54 <sup>**</sup>
Mix Concentrado comercial	34.55±1.04						
<b>c<sub>A</sub> (g h<sup>-1</sup>)</b>							
FL	0.50	0.29	0.31	0.92	0.50	0.06 <sup>NS</sup>	0.07 <sup>NS</sup>
KY	0.85	0.49	0.37	0.87	0.64		
RG	0.71	0.43	0.77	0.13	0.51		
TF	0.30	0.79	0.53	0.63	0.56		
Media Periodos	0.59	0.50	0.49	0.64			
Interacción EEMPM*Pm							0.07 <sup>***</sup>
Mix Concentrado comercial	0.24±0.02						
<b>B (ml gas g<sup>-1</sup> MS)</b>							
FL	176.20	170.67	130.40	197.30	168.70	17.09 <sup>NS</sup>	8.76 <sup>NS</sup>
KY	206.30	212.60	201.42	218.30	209.64		
RG	191.40	193.50	197.20	187.55	192.42		
TF	163.70	195.20	186.20	190.70	183.94		
Media Periodos	184.41	192.98	178.80	198.40			
Interacción EEMPM*Pm							3.93 <sup>NS</sup>
Mix Concentrado comercial	182±22.6						
<b>c<sub>B</sub> (g h<sup>-1</sup>)</b>							
FL	0.43	0.04	0.03	0.03	0.03	0.005 <sup>**</sup>	0.003 <sup>**</sup>
KY	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02		
RG	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03		
TF	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04		
Media Periodos	0.03	0.03	0.03	0.03			
Interacción EEMPM*Pm							0.000 <sup>NS</sup>
Mix Concentrado comercial	0.06±0.01						
<b>Tiempo Lag (h)</b>							
FL	2.73	2.71	3.47	2.53	2.86	0.63 <sup>NS</sup>	0.64 <sup>NS</sup>
KY	2.47	5.18	5.19	3.70	4.13		
RG	2.92	3.02	4.85	3.87	3.66		
TF	2.87	1.62	3.60	3.28	2.84		
Media Periodos	2.75	3.13	4.28	3.34			
Interacción EEMPM*Pm							0.19 <sup>NS</sup>
Mix Concentrado comercial	1.39±0.20						

**A**= Producción de Gas en 4.0 h (ml) a partir de carbohidratos solubles; **B**= Gas producido de la fracción insoluble pero potencialmente degradable, **c<sub>A</sub>**= Tasa de fermentación de los carbohidratos solubles; **c<sub>B</sub>**= Tasa de fermentación producida a partir de la fracción insoluble pero degradable; **lag**= Tiempo (horas) antes de que comience la fermentación de la fracción insoluble (FDN); **t**= tiempo de incubación; **FL**= *Festulolium* cv. Spring Green; **KY**= *Cenchrus clandestinus*; **RG**= *Lolium perenne* cv. Pay Day; **TF**= *Lolium arundinaceum* cv. TF-33; **EEMPM**= Error Estándar de la Media Parcela Mayor; **EEMPm**= Error estándar de la media parcela menor; NS= (P>0.05); \*\*P<0.01; \*\*\*P <0.001

valores son similares a los presentados para la pradera KY en la Tabla 2. Los valores promedio de 721 g kg<sup>-1</sup> MS para la DIVFDN en kikuyo también fueron similares a los registrados en este trabajo. Los valores promedio presentados en la Tabla 2 se relacionan con el contenido de carbohidratos estructurales del forraje

de las praderas y efectos asociativos entre las gramíneas y la presencia del trébol blanco, que se sabe tiene efectos positivos en el consumo voluntario y la digestibilidad del forraje ingerido (Niderkorn y Baumont, 2009).

En el Cuadro 3 se presentan los resultados de la cinética de fermentación ruminal *in vitro* de las muestras de forraje provenientes de las parcelas experimentales.

Se observaron diferencias ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos (praderas) y periodos de muestreo en la tasa de fermentación de la fracción insoluble ( $C_B$ ) y la interacción pradera\*periodo en la producción de gas a 4.0 h de incubación de la fracción soluble (A), y en la tasa de fermentación de carbohidratos solubles ( $C_A$ ), pero no hubo diferencias entre los tratamientos, periodos y las interacciones ( $P > 0.05$ ) en los demás parámetros de fermentación ruminal (tiempo lag y producción total de gas).

La menor tasa de fermentación de la fracción insoluble ( $C_B$ ) fue para KY y la mayor tasa de fermentación para TF, con valores intermedios para FL y RG. Estos resultados en KY se explican por el mayor contenido de paredes celulares lignificadas en las gramíneas subtropicales y tropicales C4 (Collins y Fritz, 2003; Juárez-Reyes *et al.*, 2006). La fermentación rápida de la fracción insoluble en TF es sorprendente ya que la gramínea alta fescue tiene menor valor nutritivo que el pasto ryegrass (Balasko y Nelson, 2003). Las diferencias entre los periodos de muestreo para  $C_B$  fueron mínimas pero dada la pequeña variación entre los datos el modelo las detectó como significativas.

Las interacciones significativas entre praderas y periodos de muestreo en la producción de gas de la fracción soluble (A) a 4.0 h de incubación y en la tasa de fermentación de carbohidratos solubles ( $C_A$ ), pone de manifiesto el efecto del tiempo entre un periodo de muestreo y otro en las variables de crecimiento y valor nutricional de los forrajes cultivados en las praderas experimentales (Claffey *et al.*, 2020). Sin embargo, los parámetros de fermentación, en particular la producción total de gas de la fracción insoluble (B) no fue afectada significativamente.

Los valores promedio de cinética de producción de gas para el forraje proveniente de la parcela KY concuerdan con lo reportado por Rayas-Amor *et al.* (2012) en un estudio con *Cenchrus clandestinus* durante la época de lluvias, donde los valores promedio de la fracción A, fracción B y tiempo Lag fueron similares a los del presente estudio durante la época de lluvias. En contraste, los valores promedio de producción de gas para la fracción B de las gramíneas de clima templado (181.68 ml/g MS) fueron menores a lo reportado por Pulido *et al.* (1998) con valores promedio de 317.7 ml/g MS.

## CONCLUSIÓN

No obstante haber diferencias en algunos parámetros de fermentación ruminal *in vitro*, el valor nutricional

del forraje de las praderas de pasto kikuyo asociadas con trébol blanco (KY) es similar a la de praderas basadas en gramíneas de clima templado con trébol blanco, por lo que constituyen un recurso forrajero valioso para la producción de leche en sistemas de producción a pequeña escala.

## Agradecimientos

Se agradece a los productores cooperantes, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento al proyecto Clave 129449 CB-2009 y por la beca para los estudios de posgrado de Dalia Andrea Plata-Reyes. Igualmente, nuestro agradecimiento a la T.L. María de Lourdes Maya Salazar y a la T.L. Laura Edith Contreras Martínez del Laboratorio de Análisis Químico del ICAR-UAEM por el apoyo prestado en la realización de este trabajo, así como al MVZ. Rodrigo Vargas Rosas en el trabajo de laboratorio.

**Financiamiento.** Este trabajo fue realizado con financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) a través del proyecto clave 129449 CB-2009 y de la beca para estudios de posgrado de Dalia Andrea Plata-Reyes.

**Conflicto de intereses.** Los autores declaramos que el contenido del artículo es producto del trabajo de investigación realizado y estamos de acuerdo con la información presentada, aceptamos el orden en que cada autor va en el documento, sin que exista conflicto de interés que declarar por parte de los autores.

**Cumplimiento de normas éticas.** Se presentan datos originales derivados del trabajo de los autores, mismos que no han sido sometidos al mismo tiempo en revistas diferentes. El trabajo de campo se llevó a cabo de acuerdo con los procedimientos aceptados por la Universidad Autónoma del Estado de México para el trabajo con productores agropecuarios cooperantes.

**Disponibilidad de datos.** Los datos están disponibles con el autor de correspondencia previa solicitud razonable.

## REFERENCIAS

- Aragadvay-Yungán, R. G., Rayas-Amor, A. A., Heredia-Nava, D., Estrada-Flores, J.G., Martínez-Castañeda, F. E., Arriaga-Jordán, C. M. 2015. *In vitro* evaluation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) silage alone or combined with maize silage. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. 6(3): 315-327.
- Balasko, J. A., Nelson, C. J. 2003. Grasses for Northern Areas. In: Barnes, R. F., Nelson, C. J., Collins, M., Moore, K.J. *Forages: An Introduction to Grassland Agriculture*. Chapter

- 6, 6<sup>th</sup> Edition. Volume I. Iowa State Press, Ames, Iowa, USA, pp. 125 – 148.
- 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.
- 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/s11250-020-02398-0>.
- Celis-Álvarez, M. D., López-González, F., Martínez-García C. G., Estrada-Flores, J. G. and Arriaga-Jordán, C. M. 2016. Oat and rye grass 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>
- Celis-Álvarez, M. D., López-González, F., Estrada-Flores, J. G., Domínguez-Vara, I. A., Heredia-Nava, D., Munguía-Contreras, A., and Arriaga-Jordán, C. M. 2017. *In vitro* nutritional evaluation of small-grain cereal forage for small-scale dairy systems. *Tropical and Subtropical Agroecosystem*. 20: 439-446.
- 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
- Collins, M., and Fritz, J. O. 2003. Forage Quality. In: Barnes, R. F., Nelscon, C.J., Collins, M., Moore, K. J. *Forages: An Introduction to Grassland Agriculture*. Chapter 10, 6<sup>th</sup> Edition. Volume I. Iowa State Press, Ames, Iowa, USA, pp. 363 – 390.
- Conroy, C. 2005. Participatory Livestock Research. Bourton-on-Dunsmore. Warwickshire, UK: ITDG Publishing.
- CSIRO. 2007. Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants. CSIRO publishing. Collingwood. Australia. 7 pp. ISBN 9780643092624
- 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.
- 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>
- Grafit. 1992. Version 3. Data Analysis and Graphics Program. Erithacus Software Ltd.
- Hernández-Mendo, O., Pérez-Pérez, J., Martínez-Hernández, P. A., Herrera- Haro, J. G., Mendoza- Martínez, G. D. and Hernández-Garay, A. 2000. Pastoreo de Kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochts.) por borregos en crecimiento a diferentes asignaciones de forraje. *Agrociencia*. 34 (2): 127-134. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=302/30234202>.
- Hopkins, A. 2000. Herbage Production. In: A. Hopkins (Ed), *Grass: Its Production and Utilization*. Chapter 4, 3rd. Edition, British Grassland Society and Blackwell Science. Oxford, UK, pp. 90-110.
- Jessop, N. S., and Herrero, M. 1996. Influence of soluble components on parameter estimation using the *in vitro* gas production technique. *Proceedings of the British Society of Animal Science*. 62:626-627.
- Juárez-Reyes, A. S., Cerrillo Soto M. A., Gutiérrez Ornelas, E, Romero Treviño E.M., Colín Negrete, C., Bernal and Barragán, H. 2009. Assessment of the nutritional value of tropical grasses obtained from conventional analyses and *in vitro* gas production. *Técnica Pecuaria en México*. 47(1):55-67.
- Kaps, M., and Lamberson, W. R. 2004. *Biostatistics for Animal Sciences*, CABI Publishing, Wallingford. Gran Bretaña.
- López-González, F., Cantú-Patiño, M.G., Gama-Garduño, O., Prospero-Bernal, F., Colín-Navarro, V. and Arriaga-Jordán, C. M. 2020. Tall fescue and ryegrass pastures for grazing dairy cows in small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 23 (39). <http://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/3126> ISSN: 1870-0462
- Marín-Santana, M. N., López-Gonzalez, F., Hernández-Mendo, O. and Arriaga-Jordán, C. M. 2020. Kikuyu pastures associated with tall fescue grazed in autumn in small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. *Tropical*

- Animal Health and Production. 52 (4):1919-1926.
- Minitab Version 14. 2000. Statistical software. User's guide 1: Data graphics, and macros. USA.
- Niderkorn, V., and Baumont, R. 2009. Associative effects between forages on feed intake and digestion in ruminants. *Animal*. 3: 951-950.
- Pell, A.N and Schofield, P. 1993. Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion *in vitro*. *Journal of Dairy Science*. 76:1063-1073.
- 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 small-scale 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.
- 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)
- Prospero-Bernal, F., Martínez-García, C.G., Olea-Pérez, R., López-González, F., and Arriaga-Jordán, C.M. 2017. Intensive grazing and maize silage to enhance the sustainability of small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*. 49: 1537–1544.
- Pulido, R., Wood, C.D. and Leaver, J.D. 1998. Study of *in vitro* fermentation kinetics of herbage mass samples and simulated grazing samples for dairy cows. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 30 (2): 101-107. <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X1998000200010>
- 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.
- Theodorou, M.K., Williams, B.A., Dhanoa, M.S., McAllan, A.B., and France, J. 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminants' feeds. *Animal Feed Science and Technology*. 48:185-197.
- Wayne, C., C. 1964. Symposium on nutrition of forages and pastures: Collecting samples representative of ingested material of grazing animals for nutritional studies, *Journal of Animal Science*. 23: 265-270.