

## Masa forrajera y valor nutritivo de los pastos nativos del altiplano central de México

Celis, M.D.<sup>1</sup>; López, F.<sup>1@</sup>; Sainz, A.P.<sup>2</sup>; Estrada, J.G.<sup>1</sup>; Martínez, C.G.<sup>1</sup> and Arriaga, C.M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales de la Universidad Autónoma del Estado de México.

<sup>2</sup> Universität Hohenheim, Stuttgart, Alemania.

### PALABRAS CLAVE

Pasto.  
Fermentación in vitro.  
Producción de gas in vitro.

### ADDITIONAL KEYWORDS

Grassland.  
In vitro fermentation.  
In vitro gas production.

### INFORMATION

Cronología del artículo.  
Recibido/Received: 17.11.2022  
Aceptado/Accepted: 10.01.2023  
On-line: 15.01.2023  
Correspondencia a los autores/Contact e-mail:  
[lopezgj@uaemex.mx](mailto:lopezgj@uaemex.mx)

### RESUMEN

Los pastizales nativos son un recurso forrajero que disponen las unidades de sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE), cuyo costo es relativamente bajo. El objetivo del presente trabajo fue determinar el valor nutritivo así como de biomasa de un pastizal nativo durante la época de lluvias en el altiplano central de México. El trabajo se llevó a cabo durante los meses de junio a octubre en sistemas de producción de leche en pequeña escala, en 9.02 ha. Se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y Mann-Whitney a los resultados de la masa de forraje (cinco periodos). Se elaboró un diseño de parcelas divididas para evaluar las variables de producción de gas in vitro, digestibilidad in vitro y energía metabolizable. Los resultados obtenidos muestran que se obtuvieron valores medios de producción de biomasa de 976.16 kg MS ha<sup>-1</sup>, contenidos de proteína cruda entre 64 y 131 g kg<sup>-1</sup> MS; FDN 599 y 698 g kg<sup>-1</sup> MS; FDA entre 282 y 336 g kg<sup>-1</sup> MS. La producción potencial de gas (B) no mostró diferencias significativas con respecto a las zonas ( $p>0.05$ ), pero sí entre los periodos ( $p<0.05$ ) con hasta un 5.8% más de producción potencial en los tres periodos intermedios. El tiempo de retardo de incubación, la tasa de fermentación y la digestibilidad "in vitro" de la fibra neutro detergente (DIVFDN) fueron afectados por sus interacciones zona×periodo ( $p<0.05$ ). En la digestibilidad "in vitro" de la materia seca (DIVMS) y energía metabolizable estimada (eEM) de los pastizales fueron mayores en los primeros cuatro periodos, disminuyendo en el último ( $p<0.05$ ). Los pastizales nativos presentan calidad media y al no requerir ningún manejo, son una opción barata para la alimentación de vacas en sistemas de producción de leche en pequeña escala en la época de lluvias.

### Forage mass and nutritive value of native grasses of the central highlands of Mexico

### SUMMARY

Native grasslands are a forage resource available to small-scale dairy production system (SSDS), whose cost is relatively low. The objective of this study was to determine the nutritive value through well as biomass of a native pasture during the rainy season in the central highlands of Mexico. The work was carried out during the months of June to October in small-scale milk production systems on 9.02 ha. The non-parametric Kruskal-Wallis and Mann-Whitney test was applied to forage mass results (five periods). A split-plot design was developed to evaluate the variables of in vitro gas production, in vitro digestibility and metabolizable energy. The results obtained show that mean biomass production values of 976.16 kg DM ha<sup>-1</sup>, crude protein contents between 64 and 131 g kg<sup>-1</sup> DM; NDF 599 and 698 g kg<sup>-1</sup> DM; FDA between 282 and 336 g kg<sup>-1</sup> DM were obtained. Potential gas production (B) did not show significant differences between zones ( $p>0.05$ ), but between periods ( $p<0.05$ ) with up to 5.8% higher potential production in the three intermediate periods. Incubation delay time, fermentation rate and in vitro digestibility of neutral detergent fibre (IVDFDN) were affected by their zone×period interactions ( $p<0.05$ ). In vitro dry matter digestibility (IVDMS) and estimated metabolizable energy (eME) of pastures were higher in the first four periods, decreasing in the last period ( $p<0.05$ ). Native pastures are of medium quality and as they do not require any management, they are an inexpensive option for feeding cows in small-scale dairy systems in the rainy season.

### INTRODUCCIÓN

El altiplano central de México tiene un clima templado subhúmedo con dos estaciones marcadas, temporada de lluvias (mayo-octubre) y época seca (noviembre-abril). Durante la estación lluviosa en estas zonas, los sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) utilizan pastizales nativos, integrando-

los en sus diversas estrategias de alimentación, utilizan subproductos agrícolas como el rastrojo, el grano y las mazorcas de maíz con o sin cáscara (el maíz es el principal cultivo del país), así como cortar y transportar arvenses de los campos de maíz (Alfonso-Avila *et al.*, 2012; Rayas *et al.*, 2012; Martínez-García *et al.*, 2015). Los pastizales nativos en SPLPE en el centro de México, se localizan en áreas empinadas y en lugares donde la

capa arable del suelo es muy delgada para sembrar, siendo pastoreados directamente por sus hatos (Rebollo y Gómez, 2003).

A pesar de la importancia que tienen los pastizales nativos en la alimentación en SPLPE en el altiplano central de México, la mayoría de las investigaciones sobre pastizales se han realizado en la parte norte del país, teniendo implicaciones en el monitoreo del rendimiento y composición química de los pastizales, lo que permite determinar la carga animal que pueden soportar (Echavarría-Chairez *et al.*, 2006; Murillo *et al.*, 2012; Reyes *et al.*, 2016). Económicamente, los pastizales se caracterizan por ser una fuente de alimentación de bajo costo barata, porque es poca la inversión en su establecimiento o fertilización, sin embargo, se necesita saber sobre las prácticas de manejo (Sainz-Sánchez *et al.*, 2017), quienes reportaron rendimientos de leche de 12 kg/leche/día en vacas pastoreando pastizales y dos diferentes niveles de suplementación. y conocer una adecuada caracterización nutricional que permita la realización de dietas equilibradas que cubran los requerimientos nutricionales del ganado.

El estado vegetativo de un forraje es un factor determinante en la velocidad y degradación de sus nutrientes en el rumen, parámetros utilizados para conocer el valor nutritivo de los alimentos (Goran *et al.*, 2005). Una de las técnicas que nos permite el valor nutritivo de un forraje es la técnica de producción de gas in vitro. El volumen de gas producido permite determinar la cinética de fermentación del alimento, y al ser ajustado a un modelo matemático, genera una mejor descripción de la cinética de fermentación ruminal de las gramíneas (Rayas *et al.*, 2012).

Por lo mencionado anteriormente, el objetivo principal del presente trabajo fue determinar el valor nutritivo de un pastizal nativo, así como la biomasa presente en el pastizal durante la época de lluvias en el altiplano central de México.

## MATERIALES MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDIO Y COLECTA DE MUESTRAS

Las muestras se encontraron dentro de un pastizal nativo de un sistema de producción de leche en pequeña escala, ubicado en el municipio de Aculco Estado

de México (20° 00' y 20° 17' Norte y 99° 40' y 100° 00' Oeste) a 2440 msnm de altitud, con clima templado subhúmedo, una temperatura anual que varía entre los 10 y 18 °C y una precipitación anual de 700-1000 mm (Jaimez-García *et al.*, 2017).

Se tomaron diez muestras de pastos de *Bouteloua hirsuta* (Navajita), *Bouteloua gracilis*, *Hilaria cenchroides* (Zacatón), *Enneapogon desvauxii*, *Paspalum prostratum*, *Bromus carinatus*, *Pennisetum clandestinum*, *Cynodon dactylon* (Gramma dulce), *Agrostis spp.*, y *Sporobolus poiretti*, así como de pseudo-pastos *Cyperus spp.* y *Juncus spp.*

La superficie del pastizal fue de 9.02 ha, con una pendiente superior al 20 % y se dividió en dos partes: zona alta (za) y zona baja (zb), el pastizal no se regó, ni tampoco se fertilizó.

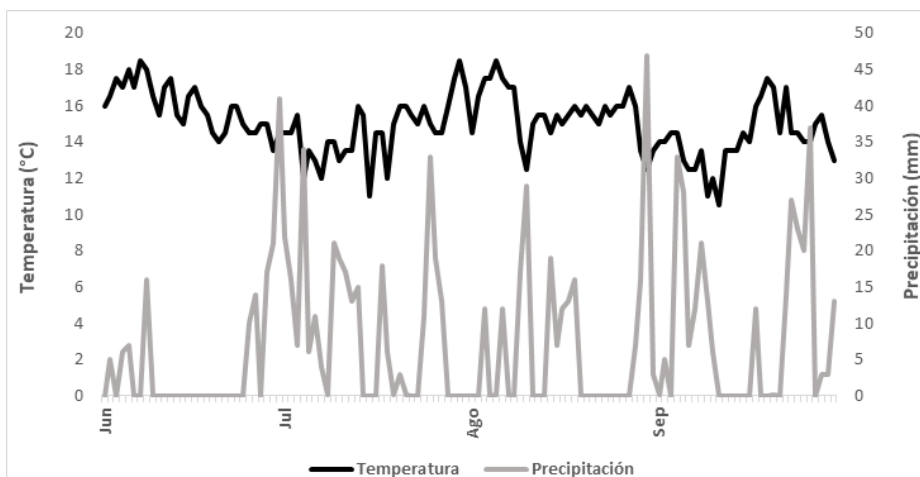
Cada cuatro semanas entre junio y octubre (cinco periodos: P1, P2, P3, P4 y P5) se tomaron muestras de pastoreo simulado del pastizal (za y zb), que es cortar la pradera con la mano simulando lo que come la vaca. Las muestras se secaron en una estufa a 65 °C durante 48 h, posteriormente se molieron en un molino de laboratorio marca Willey, a través de una malla de 1 mm para su análisis químico e incubación para producción de gas y digestibilidad in vitro. La proteína cruda se determinó con el método Kjeldahl (AOAC, 1990); mientras que la fibra en detergente neutro (NDF) y la fibra en detergente ácido (ADF) se determinaron por la técnica de micro-bolsas, usando el analizador de fibras ANKOM 200 (ANKOM, 2005).

### CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS

Durante el periodo de evaluación del experimento se tuvo una temperatura promedio de 16,7 °C con una mínima de 10,1 °C y una máxima de 23,4 °C, y una precipitación pluvial de 609,3 mm (CONAGUA, 2017).

### CONDICION MASA HERBÁCEA

La medición de biomasa (masa herbácea) del pastizal se llevó a cabo siguiendo la metodología propuesta por Hodgson (1990). La masa de forraje se estimó cada cuatro semanas durante cinco periodos, para lo cual se colocaron seis cuadrantes en la zona alta y seis en la



**Figura 1.** Temperatura y precipitación durante el experimento CONAGUA (Temperature and precipitation during the experiment CONAGUA).

zona baja cortando el forraje a nivel del suelo, usando tijeras de corte dentro de un cuadrante de 0.50 m<sup>2</sup> (0.25 m x 2.0 m). Los 12 cuadrantes fueron distribuidos al azar en las nueve hectáreas del pastizal. Para determinar la altura del pastizal se tomaron 20 medidas por periodo, en cada una de las zonas en W utilizando un medidor de plato ascendente.

#### ANÁLISIS QUÍMICO DEL PASTIZAL

Se tomaron muestras del pasto utilizando la técnica de pastoreo simulado, a cada muestra se le determino por duplicado el contenido de PC a través del método Kjeldahl. Las fracciones de fibra (FDN y FDA) a través del método ANKOM de microbolsas (Ankom technology) siguiendo el procedimiento de Van Soest *et al.* (1991).

#### PRODUCCIÓN DE GAS IN VITRO (PGIV) Y DIGESTIBILIDAD IN VITRO (DIV)

La producción de gas in vitro se realizó de acuerdo con el método de Theodorou *et al.* (1994), utilizando para ello las muestras de pastoreo simulado. Muestras de pastizal nativo (en base seca) se pesaron (990±5 mg) por cuadruplicado en botellas de 160 ml con tapa de crimpado, a 39 °C. Se le adicionó a cada botella una mezcla de 90 ml de solución amortiguadora y 10 ml de líquido ruminal, el cual se recolectó en la mañana de dos vacas fistuladas, la dieta de las vacas fue de 80 % pasto y 20 % de concentrado comercial (El concentrado comercial estuvo compuesto por granos molidos y sus derivados, semilla de algodón, pastas oleaginosas, grasa de sobre paso, Nitrógeno no proteico, melaza, pulpa de cítricos, sal común, ionóforo; minerales: calcio, fósforo, yodo de cítricos, zinc, selenio y cobalto; vitaminas: A, D y E), que se le proporcionó dos veces al día. El líquido ruminal se filtró con dos capas de gasa en un frasco térmico precalentado y llevado inmediatamente al laboratorio, se mantuvo a 39 °C y se gaseo con CO<sub>2</sub>. Un total de cuarenta frascos con sustrato (cuatro por muestra) y cuatro como blancos (sin sustrato) por corrida, se incubaron por 120 h. Se realizaron tres corridas consecutivas.

Las mediciones de producción de gas se tomaron con un transductor de presión Delta Ohm modelo D0 9704 a las 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 52, 60, 72, 84, 96 y 120 h post incubación. Los valores de producción de gas se corrigieron con el promedio de los blancos de la auto-fermentación de inculo ruminal. Las lecturas de presión se convirtieron en volumen (ml), usando una regresión lineal en la presión registrada en el tipo de botellas utilizadas y los volúmenes de aire inyectados.

Después de las 120 h, los residuos de incubación se analizaron para evaluar la digestibilidad de la MS, MO y FDN. Para el cálculo de la digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) el sustrato residual de dos frascos se removió con agua destilada y se filtró con crisoles Gooch (#1), donde se determinó por diferencia de peso de la MS inicial y la MS final. Posteriormente, la MS residual se colocó en una mufla a 450 °C durante 4 h, para determinar el contenido de cenizas, y luego calcular la materia orgánica (MO) residual y la digestibilidad in vitro de la materia orgánica (DIVMO). Para

el cálculo de la digestibilidad in vitro de la fibra en detergente neutro (DIVFDN), se utilizó la microtécnica propuesta por Pell y Schofield (1993).

El volumen acumulado de gas se ajustó al modelo matemático de Krishnamoorthy *et al.* (1991) utilizando el programa Grafit v3 (1992) a partir de la ecuación exponencial  $PG = B[1 - \exp(-c(t - \text{lag}))]$ , donde PG es la producción total de gas (ml g<sup>-1</sup> MS); B es la producción asintótica de gas de la fermentación de la FDN (ml), c es la tasa de fermentación de la fracción FDN (h) y lag es la fase antes de iniciar la fermentación (h). El contenido de energía metabolizable (EM) se calculó con la fórmula de la AFRC (1993):  $EM \text{ (MJ kg}^{-1} \text{ MS)} = (\text{DIVMO}) (0,0157)$ , donde DIVMO es la digestibilidad in vitro de la materia orgánica (g kg<sub>-1</sub> MS).

#### ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se aplicó una prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov a los resultados de la masa de forraje, sin distribución normal. Por lo tanto, los periodos se compararon aplicando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (McDonal, 2009) y Mann-Whitney (Easten y McColl, 2014).

Los resultados de las variables de producción de gas, digestibilidad y energía metabolizable se procesaron en el programa para análisis estadístico Minitab V14, se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas, se consideraron las zonas (z) como parcela principal en dos niveles (za= zona alta, zb= zona baja), los periodos (P) como parcela menor con cinco niveles (1= P1, 2= P2, 3= P3, 4= P4, 5= P5) y la repetición (R) como el factor de bloqueo con tres niveles (1= R1, 2= R2, 3= R3). Cuando existieron diferencias significativas entre medias, se procedió a realizar una prueba de Tukey (Kaps y Lamberson, 2004).

#### RESULTADOS

En la **tabla I** se presentan los resultados de masa herbácea por periodo, encontrando diferencias significativas entre el periodo 1 con respecto a los otros cuatro periodos (p<0,05). El periodo 1 fue el que menor masa herbácea presento, lo cual se debe a que es el inicio de la estación lluviosa y empieza el rebrote de los pastos y en los demás periodos existe una mayor cantidad de pasto porque se va acumulando.

#### COMPOSICIÓN QUÍMICA

El contenido de proteína cruda estuvo en 130.84 g kg<sup>-1</sup> MS en el período 1, después disminuyó de manera constante a lo largo de la investigación, llegando a 64.34 y 68.47 g kg<sup>-1</sup> MS en los periodos 4 y Período 5, respectivamente. La cantidad de FDN tuvo una tendencia inversa, aumentó con el tiempo, pasó de 599.32 g kg<sup>-1</sup> MS en el período 1 a 698.37 g kg<sup>-1</sup> MS en el período 4, con un leve descenso en P5 (622.45 g kg<sup>-1</sup> MS). Se observó una tendencia similar para la FDA, la cual aumentó de 281.72 g kg<sup>-1</sup> MS en el período 1 a 336.08 g kg<sup>-1</sup> MS en el período 3, mostrando una disminución para el período 4 con 332.29 g kg<sup>-1</sup> MS y terminando con 298.45 g kg<sup>-1</sup> MS en el período 5.

**Tabla I. Masa herbácea en el pastizal (kg MS ha<sup>-1</sup>) en el altiplano central de México en la época de lluvias.** (Herbaceous mass in the grassland (kg MS ha<sup>-1</sup>) in the central highlands of Mexico during the rainy season).

Periodo	P1		P2		P3		P4		P5	
	Media	RIC	Media	RIC	Media	RIC	Media	RIC	Media	RIC
Masa herbácea (kg MS ha <sup>-1</sup> )	250 <sup>a</sup>	191	915 <sup>b</sup>	349	1209 <sup>b</sup>	698	1151 <sup>b</sup>	857	1353 <sup>b</sup>	1359

Distintas letras en la fila indican diferencias significativas según la prueba de Kruskal-Wallis y Mann-Whitney ( $p \leq 0.05$ ), RIC= Rango Inter Cuartil (Different letters in the row indicate significant differences according to the Kruskal-Wallis and Mann-Whitney test ( $p \leq 0.05$ ), ICQ = Inter Quartile Range).

P1, P2, P3, P4 y P5, diferentes periodos de evaluación (P1, P2, P3, P4 y P5, different evaluation periods).

**Tabla II. Composición química del pastizal (g kg<sup>-1</sup> MS) en el altiplano central de México en época de lluvias.** (Chemical composition of the grassland (g kg<sup>-1</sup> MS) in the central highlands of Mexico during the rainy season).

Periodo	P1	P2	P3	P4	P5	Promedio
PC (g kg <sup>-1</sup> MS)	130.84 <sup>a</sup>	94.67 <sup>b</sup>	90.27 <sup>b</sup>	64.34 <sup>c</sup>	68.47 <sup>c</sup>	89.71
FDN (g kg <sup>-1</sup> MS)	59.32	664.53	691.00	698.37	622.45	655.13
FDA (g kg <sup>-1</sup> MS)	281.72	322.96	336.08	332.29	298.45	314.3

PC, Proteína cruda; FDN, fibra detergente neutro; FDA, fibra detergente ácido

P1, P2, P3, P4 y P5, diferentes periodos de evaluación (P1, P2, P3, P4 y P5, different evaluation periods).

**PRODUCCIÓN DE GAS IN VITRO (PGIV) Y DIGESTIBILIDAD IN VITRO (DIV)**

Los parámetros de fermentación en producción de gas in vitro del pastizal ajustados a la ecuación de Krishnamoorthy *et al.* (1991), se presentan en la **tabla III**. No se observaron diferencias significativas entre las zonas para los parámetros de producción de gas in vitro ( $p > 0.05$ ). En la fracción de "B" se observó diferencias entre periodos ( $p < 0.05$ ), donde fueron 5.8 % mayores las producciones potenciales de gas en los periodos 2, 3 y 4 comparados con los periodos 1 y 5, lo que implica una mayor degradación del forraje en el rumen.

En el caso de tasa de fermentación (c) y la duración del tiempo lag (tiempo de incubación para empezar la fermentación de la fracción soluble) sus interacciones fueron significativas ( $p < 0.05$ ).

Después de 120 h de incubación, las zonas no tuvieron un efecto significativo en los resultados de di-

gestibilidad in vitro del pastizal ( $p > 0.05$ ; **Tabla IV**). La EM, DIVg-1 MS, 618.5 a 686.4 g kg<sup>-1</sup> MS, 668.0 a 607.4 g kg<sup>-1</sup> S, respectivamente. En la DIVMS se observó una disminución paulatina a través del tiempo, donde los periodos 1, 2, 3, y 4 tienen una mayor digestibilidad en comparación con el último periodo ( $p < 0.05$ ).

La menor DIVMO se presentó en el periodo 5 en comparación con los periodos 1, 2, 3 y 4 (627.5 y 695.6 g kg<sup>-1</sup> MS) ( $p < 0.05$ ), esa misma tendencia se observó en la EM. La DIVFDN tuvo un efecto significativo en sus interacciones ( $p < 0.05$ ), presentando el menor valor en el P5 en comparación con el resto de los periodos ( $p > 0.05$ ).

**DISCUSIÓN**

Debido a que el pastoreo que se llevó a cabo durante el trabajo fue continuo y que además el área llevaba sin ser pastoreada aproximadamente cinco meses, la

**Tabla III. Parámetros de fermentación en producción de gas in vitro del pastizal en el altiplano central de México durante la época de lluvias** (Fermentation parameters in vitro gas production of the grassland in the central highlands of Mexico during the rainy season).

		Periodos					Media	EEMz	EEMp	EEMz*p
		P1	P2	P3	P4	P5				
B (ml g <sup>-1</sup> MS)	za	252	261	275	289	265	269	5.3 <sup>ns</sup>	13.9*	20.6 <sup>ns</sup>
	zb	236	274	270	272	252	261			
	Media	244 <sup>b</sup>	268 <sup>a</sup>	273 <sup>a</sup>	281 <sup>a</sup>	259 <sup>b</sup>				
c (h)	za	0.036	0.031	0.027	0.027	0.027	0.03	0.06 <sup>ns</sup>	0.04*	0.01*
	zb	0.037	0.028	0.027	0.029	0.024	0.029			
	Media	0.036 <sup>a</sup>	0.02 <sup>b</sup>	0.027 <sup>b</sup>	0.028 <sup>b</sup>	0.025 <sup>b</sup>				
lag (h)	za	5.2	6.7	7.2	6.7	7.2	6.6	0.31 <sup>ns</sup>	1.18*	1.61*
	zb	5.4	6.6	9.9	6.1	7.1	7.0			
	Media	5.3 <sup>a</sup>	6.7 <sup>a</sup>	8.5 <sup>b</sup>	6.4 <sup>a</sup>	7.2 <sup>b</sup>				

Los valores en columnas con letras diferentes, son estadísticamente diferentes (Tukey; ( $p \leq 0.05$ ), \*Significativo ( $p \leq 0.05$ ), ns= no significativo ( $p > 0.05$ ), B= producción potencial de gas (ml gas g<sup>-1</sup> MS), c= tasa de fermentación de fracción B, lag= fase antes de iniciar la fermentación (h) de la FDN, za= zona alta, zb= zona baja, P1, P2, P3, P4 y P5 periodos; EEMz= error estándar de la media de las zonas, EEMp= error estándar de la media de los periodos, EEMz\*p= error estándar de la media de la interacción de zonas con periodos.



**Tabla IV. Variables de fermentación ruminal del pastizal en el altiplano central de México durante la época de lluvias** (Variables of ruminal fermentation of the grassland in the central highlands of Mexico during the rainy season).

		Periodos					Media	EEMz	EEMp	EEMz*p
		P1	P2	P3	P4	P5				
DIVMS (g kg <sup>-1</sup> MS)	za	679.1	657.8	656.4	695.6	627.8	663.3	3.0 <sup>ns</sup>	26.1*	33.5 <sup>ns</sup>
	zb	671.5	686.9	654.5	673.2	609.1	6590			
	Media	675.3 <sup>a</sup>	672.4 <sup>a</sup>	655.4 <sup>a</sup>	686.4 <sup>a</sup>	618.5 <sup>b</sup>				
DIVFDN (g kg <sup>-1</sup> MS)	za	660.9	618.6	627.3	612.3	572.6	618.8	1.1 <sup>ns</sup>	45.6*	57.7*
	zb	645.8	661.3	628.1	645.3	503.6	616.8			
	Media	653.4 <sup>a</sup>	640.0 <sup>a</sup>	627.7 <sup>a</sup>	628.8 <sup>a</sup>	538.1 <sup>b</sup>				
eEm (MJ kg <sup>-1</sup> MS)	za	10.6	10.2	10.1	10.7	9.7	10.3	0.11 <sup>ns</sup>	0.41*	0.57 <sup>ns</sup>
	zb	10.4	10.5	9.9	10.4	9.4	10.1			
	Media	10.5 <sup>a</sup>	10.3 <sup>a</sup>	10.0 <sup>b</sup>	10.4 <sup>a</sup>	9.6 <sup>b</sup>				

Los valores en columnas con letras diferentes, son estadísticamente diferentes (Tukey; (p≤0,05); \*Significativo (p≤0,05), ns= no significativo (p>0,05), DIVMS= digestibilidad *in vitro* de la materia seca, DIVMO= digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica, DIFDN= digestibilidad *in vitro* de la fibra en detergente neutro, eEM= energía metabolizable estimada, za=zona alta, zb=zona baja, P1, P2, P3, P4 y P5 periodos; EEMz= error estándar de la media de las zonas, EEMp= error estándar de la media de los periodos, EEMz\*p= error estándar de la media de la interacción de zonas con periodos.

masa herbácea se incrementó con el paso del tiempo, lo que nos indica que existió una mayor cantidad de forraje que el ganado no pudo consumir, la carga animal se mantuvo constante durante el estudio (17,4 unidades de ganado), lo que nos da una carga animal de 1,93 unidades animal ha<sup>-1</sup>, lo cual ocasionó que el forraje que no fuera consumido por los animales y este alcanzara la madurez y posteriormente la senescencia. Villa-Herrera *et al.* (2014), observaron que el crecimiento de los pastizales en época de lluvias se lleva a cabo de manera expo-lineal, lo que ocasiona que exista una mayor cantidad de forraje que nos es consumido por el animal y por lo tanto mucho llega a la senescencia.

La masa herbácea reportada en este estudio en promedio fue de 975.16 kg MS ha<sup>-1</sup>, comparada con la reportada por Echavarría-Chairez *et al.* (2006) quienes obtuvieron una producción de materia seca de 471 kg ha<sup>-1</sup> y 1151 kg ha<sup>-1</sup> en pastizales similares (al norte de Zacatecas con menos lluvia) en pastoreo continuo y rotacional. Lo que indica que, a pesar de las diferentes condiciones agroclimáticas, los pastizales tienen rendimientos similares de materia seca.

Los resultados de masa herbácea fueron diferentes a los reportados por Rayas *et al.* (2012), quienes informaron rendimientos de 1600 kg MS ha<sup>-1</sup> en pastizales nativos en el Valle de Toluca en el centro del Estado de México, con mayor precipitación, baja intensidad de pastoreo (entre 4 y 6 h/día), similar a las prácticas reportadas en este trabajo.

El contenido de PC en los periodos 1, 2 y 3 fue superior a 75 g kg<sup>-1</sup> MS, el mínimo requerido para asegurar una función adecuada de los microorganismos del rumen (Van Soest, 1994). En los periodos 4 y 5 el contenido de proteína cruda estuvo por debajo de este umbral (64 y 68 g kg<sup>-1</sup> MS, respectivamente). El descenso de la proteína cruda con el paso del tiempo se atribuye a la madurez que alcanza la planta, ya que esta ocasiona que la proteína disminuya y se incrementen los carbohidratos estructurales, comportamiento que se puede observar en la cantidad de FDN y FDA.

La cantidad de FDN y FDA presentaron un patrón inverso al de la PC, los valores más bajos se obtuvieron en el periodo 1, aumentando a partir del periodo 2 y una ligera disminución en el periodo 5, con valores medios de 655.13 y 314.30 g kg<sup>-1</sup> MS, respectivamente. El valor nutritivo del pastizal disminuyó conforme fue avanzando el periodo de maduración del pasto, esta misma tendencia fue reportada en Japon por Furusawa *et al.* (2010).

El descenso de la calidad nutritiva se hizo más evidente debido a la baja intensidad de pastoreo, acumulándose una mayor cantidad de forraje, lo que permitió que los pastos maduraran y entraran en proceso reproductivo, impidiendo la estimulación de nuevos macollos y, por lo tanto, el crecimiento vegetativo que pueden ser inducido por una mayor presión de pastoreo (Parsons y Chapman *et al.*, 2000).

Un efecto similar observó Okello *et al.* (2005) en el pastoreo de diez vacas lecheras en pastizales nativos en una parcela de 10 ha, observando contenidos de FDN de 76 y 84 %, mencionando que la baja calidad de los pastos se debió al rápido crecimiento del pasto y la baja presión de pastoreo.

En general, los valores para la fracción B fueron superiores a los reportados en Veracruz en pastos tropicales inducidos (*Panicum maximum*, *Digitaria decumbens*, *Cynodon dactylon* y *P. maximum* var *Tanzania*) con 243 ml g<sup>-1</sup> MS (Juarez *et al.*, 2009) y de especies de gramíneas nativas en la zona centro de México (211.83 ml g<sup>-1</sup> MS) (Rayas *et al.*, 2012); sin embargo, fueron inferiores comparados con praderas cultivadas (Castro-Hernández *et al.*, 2017). La producción potencial de gas está determinada por la composición química de cada uno de los diferentes tipos de pastos presentes (Reis *et al.*, 2016) y su etapa fenológica (Goran *et al.*, 2005; Castro-Hernández *et al.*, 2017), dando como resultado las diferencias en la producción de gas.

En Durango, México, Murillo *et al* (2012) reportó digestibilidades de la MS de pastos nativos durante el verano similares a los resultados encontrados en este

trabajo. La DIVMO y DIVFDN fueron inferiores a las reportadas por Rayas *et al.* (2012) para algunas gramíneas (*Pennisetum clandestinum* y *Sporobolus indicus*) (648 y 465.625 y 499 g/kg MS) en la zona del centro de México, lo cual se debe a que el forraje en los pastizales entró rápidamente a la etapa reproductiva que no fue controlada por el pastoreo intenso, alcanzando valores bajos de digestibilidad hacia el final del experimento. Goran *et al.* (2005) observaron una disminución de la digestibilidad de *Lolium perenne* cuando el pasto ya estaba en etapa de maduración. Sin embargo, se observó las menores digestibilidades de MO y EM en los periodos P3 y P5, condicionando su comportamiento por la presencia de lluvias. Reyes *et al.* (2016) mencionaron que la presencia de precipitación en los pastizales nativos entre años y estaciones influyen en el valor nutritivo y los parámetros de producción de gas.

Con el uso de la técnica de producción de gas in vitro, el contenido de EM del pastizal fue similar al encontrado por Reyes *et al.* (2016) durante el verano (10.05 M kg<sup>-1</sup> MS), pero fue menor a los obtenido por Sainz-Sánchez *et al.* (2017) en la misma zona.

Los resultados de composición química y producción de gas difirieron a lo reportado por Karabulut *et al.* (2007), quienes mencionaron una correlación positiva en los parámetros de producción de gas, EM y DMO con los contenidos de proteína, grasa cruda y cenizas, y una correlación negativa con el contenido de la pared celular (FDN, FDA y LIG). Sin embargo, Tang *et al.* (2008) midieron las características fermentativas de pajas, alfalfa y trébol, incubados solos y en mezclas, y se observaron que los efectos de la interacción se ven afectados por el tipo de forraje (constituyentes del alimento y sustrato soluble) y su proporción en las mezclas. La técnica de producción de gas in vitro considera primordialmente a los sustratos de los carbohidratos, los cuales aportan la mayor proporción de producción de gas en comparación con las grasas, cenizas y proteínas; sin embargo, son degradados in vitro (Blummel *et al.*, 2011). Tomando en cuenta estos resultados, se deduce que la proporción de las especies presentes en el pastizal a lo largo de los periodos tienen una relación positiva en los parámetros de fermentación ruminal y la calidad nutritiva del forraje.

## CONCLUSIONES

Según los valores obtenidos de la composición química del pastizal disminuyó con el paso del tiempo, afectando la digestibilidad y la cinética de fermentación ruminal. Por lo tanto, al ser un recurso que está disponible para los productores de leche en pequeña escala representa una opción importante para la alimentación de vacas lecheras en sistemas de producción de leche en pequeña escala durante la época de lluvias.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su gratitud al productor y a su familia que participaron en este estudio. Este trabajo se llevó a cabo gracias al financiamiento de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID 11-CAP2-1526), al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) a través del proyec-

to 129449 CB-2009. Se agradece también a la Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SEDAGRO) del gobierno del Estado de México por el financiamiento del Programa de Desarrollo de Capacidades y Extensión Rural para la Consolidación de la Producción Lechera en la Región Norte del Estado de México (UAEM110597).

## BIBLIOGRAFÍA

- AFRC. 1993. Animal and Food Research Council. Energy and protein requirements of ruminants, CAB International; Wallingford, UK.
- Alfonso-Ávila, AR, Wattiaux, MA, Espinoza-Ortega, A, Sánchez-Vera, E, Arriaga-Jordán, CM 2012, Local feeding strategies and milk composition in small-scale dairy production systems during the rainy season in the highlands of Mexico, *Tropical Animal Health and Production*, vol. 44, no. 3, pp. 637-644. <https://doi.org/10.1007/s11250-011-9947-5>.
- ANKOM. Procedures (for NDF and ADF). Ankom Technology Method; 2005 [cited 2017 Nov 20]. Available from: <http://www.ankom.com/AOAC>.
- AOAC. 1990. Association of Analytical Chemists. Official method of analysis. 15 ed. Arlington, VA.
- Blummel, M, Makkar, HPS, Becker, K 2011, In vitro gas production-a technique revised, *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, vol. 77, no. 1, pp. 24-34. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.1997.tb00734.x>.
- Castro-Hernández, H, Domínguez-Vara, IA, Morales-Almaraz, E, Huerta-Bravo, M 2017, Composición química, contenido mineral y digestibilidad in vitro de raigrás (*Lolium perenne*) según intervalo de corte y época de crecimiento, *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, vol. 8, no. 2, Pp. 201-210. <http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v8i2.4445>.
- Conagua. Comisión Nacional del Agua. La concepción, Aculco, México. [cited 2017 Sep 17]. Available from: <https://www.gob.mx/conagua>.
- Echavarría-Chairez F, Gutiérrez-Luna R, Ledesma-Rivera, R, Bañuelos-Valenzuela, R, Aguilera-Soto, J, Serna Pérez, A 2006, Influencia del sistema de pastoreo con pequeños rumiantes en un agostadero del semiárido zacatecano. I. Vegetación nativa, *Técnica Pecuaria México*, vol. 44, no. 2, pp. 203-217.
- Furusawa, S, Yoshihara, Y, Sato, S 2013, Plant diversity, productivity and nutritive value change following abandonment of public pastures in Japan, *Grassland Science*, vol. 59, no. 1, pp 59-62. <https://doi.org/10.1111/grs.12012>.
- Goran, K, Darko, G, Antun, K, Karolyi, D 2005, Estimating grass and grass silage degradation characteristics by in situ and in vitro gas production methods, *Italian Journal of Animal Science*, vol. 4, no. 3, pp. 142-144. <https://doi.org/10.4081/ijas.2005.3s.142>.
- Hodgson, J 1990, *Grazing Management: Science into Practice*, Harlow, Essex, UK: Longman Scientific and Technical.
- Jaimez-García, AS, Heredia-Nava, D, Estrada-Flores, JG, Vicente, F, Martínez-Fernández, A, López-González, F, Arriaga-Jordán, CM 2017, Maize silage as sole forage source for dairy cows in small-scale systems in the highlands of central Mexico, *Indian Journal of Animal Science*, vol. 87, no. 6, pp. 752-756.
- Juárez, RAS, Cerrillo, SMA, Gutiérrez, OE, Romero, TEM, Colín, NJ, Bernal, BH 2009, Estimación del valor nutricional de pastos tropicales a partir de análisis convencionales y de la producción de gas in vitro, *Técnica Pecuaria en México*, vol. 47, no. 1, pp. 55-67.
- Kaps, M, Lamberson, WR 2004 *Biostatistics for animal science*, Wallingford, U.K: CABI Publishing.
- Karabulut, A, Canbolat, O, Kalkan, H, Gurbuzol, F, Sucu, E, Filya I 2007, Comparison of In vitro Gas Production, Metabolizable Energy, Organic Matter Digestibility and Microbial Protein Production of Some Legume Hays, *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, vol. 20, no. 4, pp. 517-522. [10.5713/ajas.2007.517](https://doi.org/10.5713/ajas.2007.517).
- Krishnamoorthy, U, Soller, H, Steingass, H and Menke, KHA 1991, Comparative study on rumen fermentation of energy supplements in vitro, *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, vol. 65, no. 1, pp. 28-35. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.1991.tb00237.x>.

- Martínez-García, CG, Rayas-Amor, AA, Anaya-Ortega, JP, Martínez-Castañeda, FE, Espinoza-Ortega, A, Prospero-Bernal, F, Arriaga-Jordán, CM 2015, Performance of small-scale dairy farms in the highlands of central Mexico during the dry season under traditional feeding strategies, *Tropical Animal Health and Production*, vol. 47, no. 2, pp. 331-337. <https://doi.org/10.1007/s11250-014-0720-4>
- McDonald JH 2009 Handbook of Biological Statistics. 2nd ed. Maryland, USA: Sparky House Publishing.
- Murillo, M, Herrera, E, Carrete, FO, Ruiz, O, Serrato, JS 2012, Chemical composition, in vitro gas production, ruminal fermentation and degradation patterns of diets by grazing steers in native range of North Mexico, *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, vol. 25, no. 10, pp. 1395-1403. <https://doi.org/10.5713/ajas.2012.12281>.
- Okello, S, Sabiti, EN, Schwartz, HJ 2005, Analysis of factors affecting milk yield of Ankole cows grazed on natural range pastures in Uganda, *African Journal of Range Forage Science*, vol. 22, no. pp. 149-156. <https://doi.org/10.2989/10220110509485874>.
- Parsons, AJ, Chapman, GF 2000, The principles of pasture growth and utilization. In: Hopkins A, editor. Grass: Its Production and Utilization. 3rd ed. Oxford, UK: British Grassland Society and Blackwell Science.
- Pell, AN, Schofield, P 1993, Computerised monitoring of gas production to measure forage digestion in vitro, *Journal of Dairy Science*, vol. 76, no. pp. 1063-1073. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77435-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77435-4).
- Rayas, A.A., Estrada, FJG, Lawrence, MF, and Castelán, OAO 2012, Nutritional value of forage species from the Central Highlands region of Mexico at different stages of maturity, *Ciência Rural*, vol. 42, no. pp. 705-712. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012000400022>
- Rebollo, S. and Gómez-Sal, A 2003, *Aprovechamiento sostenible de los pastizales, Ecosistemas*, vol. 12, no. pp. 1-10. <http://www.aeet.org/ecosistemas/033/investigacion7.htm>.
- Reis, ST, Lima, MVG, Sales, ECJ, Monção, FP, Rigueira, JPS, and Santos, LDT 2016, Fermentation kinetics and in vitro degradation rates of grasses of the genus *Cynodon*, *Acta Scientiarum: Ciências Animales*, vol. 38, no. pp. 249-254. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v38i3.30009>.
- Reyes, OMM, Herrera, E, and Carrete, FO 2016, Seasonal and annual changes in the quality of native rangeland selected by grazing steers in northern Mexico, *Ciencia e Investigación Agraria*, vol. 43, no. pp. 203-212. [10.4067/S0718-16202016000200003](https://doi.org/10.4067/S0718-16202016000200003).
- Sainz-Sánchez, PA, López-González, F, Estrada-Flores, JG, Martínez-García, CG, and 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*, vol. 49, no. pp. 179-186. <https://doi.org/10.1007/s11250-016-1178-3>.
- Tang, SX, Tayo, GO, Tan, ZL, Sun, ZH, Wang, M, Ren, GP, and Han, XF 2008, Use of in vitro Gas Production Technique to Investigate Interactions between Rice Straw, Wheat Straw, Maize Stover and Alfalfa or Clover, *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, vol. 21, no. pp. 1278-1285. <https://doi.org/10.5713/ajas.2008.70447>.
- Tessema, Z, Ashagre, A, and Solomon, M 2010, Botanical composition, yield and nutritional quality of grassland in relation to stages of harvesting and fertilizer application in the highlands of Ethiopia, *African Journal of Range & Forage Science*, vol. 27, no. pp. 117-124. <https://doi.org/10.2989/10220119.2010.530460>.
- Theodorou, MK, Williams, BA, Dhanoa, MS, McAllan, AB, and France, J 1994, A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds, *Animal Feed Science and Technology*, vol. 48, no. pp. 185-197. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90171-6](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90171-6).
- Van Soest, PJ 1994, Nutritional Ecology of the Ruminant. 2nd ed. Ithaca, USA: Cornell University Press.
- Villa-Herrera, A, Paz-Pellat, F, Pérez-Henández, MJ, Rojas-Montes, C, Rodríguez-Arvizu, M, Ortiz-Acosta, S, Casiano-Domínguez, M, and Díaz-Solís, H 2014, estimación de la capacidad de carga animal en agostaderos usando un índice de vegetación de pendientes normalizadas, *Agrociencia*, vol. 48, no. 6, Pp. 599-614. <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1105/1105>.