

## Rendimiento, perfiles nutrimental y de fermentación ruminal *in vitro* de pasto maralfalfa (*Cenchrus purpureus* Schumach.) Morrone a diferentes frecuencias de corte en clima cálido

Yield, nutrimental and *in vitro* ruminal fermentation profiles of maralfalfa grass (*Cenchrus purpureus* Schumach.) Morrone at different cutting frequencies in warm weather

Joel Ventura Ríos<sup>1</sup>, Iván Reyes Vazquez<sup>2</sup>, Alejandro García Salas<sup>1</sup>, Canuto Muñoz García<sup>1</sup>, Alberto Muro Reyes<sup>3</sup>, María de los Ángeles Maldonado Peralta<sup>4</sup>, Adelaido Rafael Rojas García<sup>4\*</sup>, Aldenamar Cruz Hernández<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados.

<sup>2</sup>Trouw Nutrition México.

<sup>3</sup> Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Zacatecas.

<sup>4</sup>Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No.2, Universidad Autónoma de Guerrero, 41940, Cuajinicuilapa, Guerrero, México.

Correo electrónico: rogarcia@uagro.mx

<sup>5</sup>División Académica de Ciencias Agropecuarias. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

### Resumenet

El objetivo de este estudio fue evaluar el rendimiento, los perfiles nutrimental y de fermentación ruminal *in vitro* del pasto maralfalfa (*Cenchrus purpureus* Schumach.) Morrone, a cuatro frecuencias de corte. Los tratamientos se distribuyeron en bloques al azar en parcelas divididas con tres repeticiones. Los datos se analizaron en modelo lineal generalizado (GLM, por sus siglas en inglés) con el paquete estadístico de *Statistical Analysis Software* (SAS) y las medias se compararon con Tukey. El mayor rendimiento de biomasa (20.2 Mg MS ha<sup>-1</sup>), fibra detergente neutro (FDN) (66.7%), celulosa (CL) (45.4%), energía (16.3 MJ kg<sup>-1</sup> MS) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (89.7%) se obtuvo en la frecuencia de corte a cada 120 días ( $p < 0.05$ ). El contenido de proteína cruda (PC) (9.3%), hemicelulosa (HC) (17.6%), cenizas (11.7%), humedad (8.4%) y lignina detergente ácido (LDA) (4.7%), ácido acético (77.8%), propiónico (29.4%), butírico (12.6%), CH<sub>4</sub> (11.9%) y la Digestibilidad de la materia seca (DivMS) (55.6%), fue más elevado en la frecuencia de corte a 30 días ( $p < 0.05$ ). El contenido de extracto etéreo (EE) (1.8%,  $p < 0.05$ ) fue mayor en la frecuencia de corte al día 90. El pasto maralfalfa tiene una mejor composición química y mayor contenido de ácidos grasos volátiles (AGV) en etapas tempranas de corte.

**Palabras clave:** *Cenchrus*; rendimiento; composición química; digestibilidad; AGV; frecuencia.

### Abstract

The objective of this experiment was to evaluate the yield, nutrimental and *in vitro* ruminal fermentation profiles of maralfalfa grass (*Cenchrus purpureus* Schumach.) Morrone, at four harvest frequencies. Treatments were allocated in a randomized block design in divided plots with three replications. Data were analyzed using the Statistical Analysis Software (SAS) general lineal model (GLM) procedure, and a comparison of means (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ) was made. The maximum biomass yield (20.2 kg<sup>-1</sup> DM ha<sup>-1</sup>), NDF (66.7%), LC (45.4%), energy (16.3 MJ kg<sup>-1</sup> DM) and CO<sub>2</sub> (89.7%) were found in the cutting frequency at 120 days ( $p < 0.05$ ). The highest content of CP (9.3%), CH (17.6%), ash (11.7%) moisture (8.4%) and ADL (4.7%), acetic acid (77.8%), propionic acid (29.4%), butyric acid (12.6%), CH<sub>4</sub> (11.9%) and IVDMD (55.6%) was found in the frequency at every 30 days ( $p < 0.05$ ). The content of EE (1.8%;  $p < 0.05$ ) was higher in the cutoff frequency to day 90. The maralfalfa grass has a better chemical composition, increased production of AGV in early stages of court, allowing it to be a good source in animal feed production.

**Keywords:** *Cenchrus*; yield; chemical composition; digestibility; AGV; frequency.

Recibido: 4 de febrero de 2018

Aceptado: 11 de febrero de 2019

Publicado: 2 de octubre de 2019

**Como citar:** Ventura-Ríos, J., Reyes-Vazquez, I., García-Salas, A., Muñoz-García, C., Muro-Reyes, A., Maldonado-Peralta, M. A., Rojas-García, A. R., & Cruz Hernández, A. (2019). Rendimiento, perfiles nutrimental y de fermentación ruminal *in vitro* de pasto maralfalfa (*Cenchrus purpureus* Schumach.) Morrone a diferentes frecuencias de corte en clima cálido. *Acta Universitaria* 29, e2204. doi: <http://doi.org/10.15174.2019.2204>

## Introducción

Los microorganismos ruminales tienen la capacidad de convertir los carbohidratos, en conjunto con una adecuada fuente de nitrógeno, a proteína de alto valor biológico y a un costo menor, en comparación con la alimentación con una fuente proteica (Lounglawan, Lounglawan & Suksombat, 2014). Lo anterior es determinado también por la calidad de los forrajes, la cual está dada principalmente por los componentes químicos y la degradabilidad de la misma (Harper & McNeill, 2015). La composición química de la pared celular de las poáceas, dependiendo de la etapa fisiológica, está constituida por fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) y azúcares solubles. Estos nutrimentos pueden ser utilizados parcialmente por los microorganismos del rumen y, posteriormente, estos microorganismos y los metabolitos que estos producen son utilizados por los rumiantes como fuente de proteína microbiana y sus metabolitos como fuente de energía, principalmente, como es el caso de los ácidos grasos volátiles (AGV) y ácidos grasos de cadena ramificada; además, se generan gases como el CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> y calor metabólico (Schofield, Pitt & Pell, 1994).

Los AGV se producen por la fermentación de materia orgánica, predominando el ácido acético, propiónico y butírico así como pequeñas cantidades de isobutírico y valérico, entre otros (Dijkstra, 1994). La producción de AGV está influenciada por la composición y la disponibilidad del sustrato, la tasa de despolimerización y pH, sin hacer a un lado las especies de bacterias presentes, por lo que dependiendo del tipo de sustrato disponible será la proporción relativa de AGV. La producción de AGV varía de acuerdo con el perfil nutrimental de los sustratos y la disponibilidad de estos para su fermentación en el rumen (Pinder & Patterson, 2012). El valor nutrimental de los ingredientes en la dieta, así como su biodisponibilidad, el estado vegetativo de la planta y su contenido de lignina pueden limitar la producción de AGV, la degradabilidad y la fermentación de los carbohidratos del forraje en el rumen (Van Soest, Robertson & Lewis, 1991).

La producción de CH<sub>4</sub> en rumen se produce por microorganismos metanógenos que utilizan las fuentes de H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> generado por los demás microorganismos para generar sus propios metabolitos energéticos y se lleva a cabo como una ruta en la que los metanógenos ruminales utilizan H<sub>2</sub> (80%) y el formiato (18%) principalmente como sustratos (Ramírez, Posada & Noguera, 2014). Sin embargo, la producción de CH<sub>4</sub> constituye una pérdida de energía total (Bonilla & Lemus, 2012), que puede ser de 2% a 12% (Johnson & Johnson, 1995).

En la región tropical húmeda de México se han introducido variedades del género *Cenchrus purpureus* (Schum.) Morrone (previamente *Pennisetum purpureum*, Chemiskuy, Giussani, Scataglini, Kellogg & Morrone, 2010), los cuales son de mayor potencial de crecimiento y producción de biomasa por unidad de superficie (Rueda *et al.*, 2016). Los trabajos científicos dirigidos en México con pastos del género *Cenchrus* son limitados y se han enfocado a evaluar la respuesta a diferentes niveles de N (Ramos, Canul & Duarte, 2013), análisis de crecimiento (Calzada-Marín, Enríquez-Quiroz, Hernández-Garay, Ortega-Jiménez & Mendoza-Pedroza, 2014), como fuente bioenergética y producción de bioetanol (Rueda *et al.*, 2016) y rendimientos de biomasa y análisis químicos en época de seca (Cárdenas-Ramírez *et al.*, 2012). Por otro lado, es necesario mencionar que el pasto maralfalfa fue introducido a México en años recientes (López-Guerrero & Enríquez-Quiroz, 2011); sin embargo, la información existente, en su gran mayoría no respaldada con un método científico, reporta valores que exceden la composición química comparada con otros pastos de uso forrajero, de tal manera que se ha distribuido en las zonas tropicales del país por ganaderos y casas comerciales que distribuyen semillas, sin previa evaluación científica. El objetivo de este estudio fue evaluar el rendimiento, los perfiles nutrimentales y de fermentación ruminal *in vitro* del pasto maralfalfa (*Cenchrus purpureus* Schumach) Morrone a cuatro frecuencias de corte en clima cálido.

## Materiales y Métodos

El estudio se realizó en el Sitio Experimental Papaloapan del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), a 18° 06' LN y 95° 31' LO, a 65 m s.n.m., en la ciudad Isla, Veracruz. El clima del lugar es  $A_{w1}$ , que corresponde a un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano y temperatura media anual de 25.7 °C (García, 2004). La siembra se efectuó el 22 de julio de 2011, en surcos con separación de 50 cm, en parcelas experimentales de 5 m × 16 m. Las praderas se fertilizaron con la siguiente fórmula: 120-80-00 kg ha<sup>-1</sup> de N, P y K. El N se dividió en dos aplicaciones a los 43 y 112 días posteriores a la siembra. El suelo es considerado como acrisol órtico, con textura migajón-arenosa, de bajo contenido de materia orgánica (0.34%), N inorgánico (2 ppm), K (trazas), Ca (174 ppm), Mg (48 ppm) y Cu (0.2 ppm), Fe (57 ppm), Zn (1.6 ppm), Mn (4.4 ppm) y P (55 ppm), con pH de 4 a 4.7 (Enríquez & Romero, 1999).

Los tratamientos consistieron en cuatro frecuencias de corte (30, 60, 90, y 120 días), distribuyéndose en un diseño de bloques al azar con tres repeticiones y en parcelas divididas, donde la parcela mayor fue el pasto y la menor la frecuencia de corte. Las evaluaciones fisicoquímicas se realizaron en el laboratorio de nutrición animal del Colegio de Postgraduados. Se determinó el rendimiento de biomasa, composición química (FDN, FDA, celulosa, hemicelulosa, lignina, extracto etéreo, cenizas y N) y contenido de energía (MJ kg<sup>-1</sup>), degradabilidad (%), (CH<sub>4</sub>; %), (CO<sub>2</sub>; %) y producción de AGV (acético, propiónico, butírico; mmol) y total de AGV.

### Rendimiento de biomasa

Se determinó para cada frecuencia de corte (30, 60, 90 y 120 días después del corte de homogeneización [ddch]), mediante muestreos destructivos, durante un año. Para ello, en cada parcela se cosechó un área central de 2 m × 3 m, dejando un metro de borde en cada lado y 50 cm entre frecuencias de corte (6 m<sup>2</sup>) y se cortó el forraje total (planta entera) a 20 cm de altura para la recuperación de la planta. La biomasa cosechada se pesó, se tomó una submuestra de aproximadamente 20%, se registró el peso fresco y se introdujo en una estufa de aire forzado a 55 °C hasta peso constante y se registró el peso para determinar el rendimiento por unidad de superficie (mg MS ha<sup>-1</sup>). Las muestras deshidratadas fueron después pulverizadas en un molino Wiley® (Arthur H. Tomas, Philadelphia, PA, USA) y tamizadas en mallas del No. 40 (0.42 mm - 1.00 mm) y No. 60 (0.25 mm - 0.42 mm), para después determinar el contenido de MS total a 105 °C por 12 h y expresar el contenido de nutrientes en base seca (% de MS).

### Composición química

Las muestras se incineraron durante 2 h a 600 °C para obtener el contenido de materia orgánica y cenizas. La concentración de proteína cruda (PC) se midió por el método Kjeldahl (N × 6.25) y extracto etéreo en extractor Soxhlet (*Association of Official Analytical Chemists [AOAC], 1990*). Las concentraciones de FDN, FDA (Van Soest *et al.*, 1991) y LDA (Goering & Van Soest, 1970) se obtuvieron secuencialmente en el analizador de fibras ANKOM200®. La hemicelulosa (HC) y celulosa (CL) se calcularon mediante la diferencia entre FDN y FDA, y entre FDA y lignina, respectivamente.

### Contenido energético

El contenido energético se determinó en un calorímetro de bomba adiabática (Isoperibol, Parr 1266) acorde a la norma (*American Society for Testing and Materials [ASTM], 1996*) y una temperatura de 30 °C ± 0.5 °C, con pastillas comprimidas de peso igual o menor a 1 g. Al mismo tiempo, se determinó el contenido de humedad de las muestras en balanza Ohaus MB45®. Se realizaron cinco determinaciones por tratamiento.

## Producción de gas *in vitro*

La producción de gas *in vitro* se determinó de acuerdo a la técnica propuesta por Menke *et al.* (1979). Se realizaron cuatro incubaciones; una por cada frecuencia de corte. En viales serológicos estériles de 100 mL se colocaron 500 mg de muestra de forraje seco con 72 mL de saliva artificial y líquido en proporción 2:1, respectivamente, y se incubaron en baño maría a 39 °C (Theodorou, Williams, Dhanoa, McAllan & France, 1994). La producción de gas se midió a 24 h, 48 h y 72 h de incubación y el gas capturado se conservó en refrigeración para su posterior análisis.

## Análisis de AGV y CH<sub>4</sub>

Se realizó la cuantificación molar de los ácidos grasos volátiles (AGV) en el líquido resultante de la degradabilidad ruminal *in vitro* a 72 h. Se utilizó ácido metafosfórico al 25% P/V como estabilizador de los AGV en una relación de 5:1 entre el líquido resultante de la incubación y el conservante mencionado. Esta mezcla se almacenó en refrigeración a 4 °C hasta su análisis. Para el análisis por cromatografía de gases, las muestras se centrifugaron a 18 800 xg (gravidades) por 10 min (centrifuga Ilettich EBA21), el sobrenadante se depositó en viales para cromatografía (Perkin Elmer, 1.5 mL). La concentración de AGV se determinó en un cromatógrafo de gases (Perkin Elmer, Claurus 500 con detector de ionización de flama) (Erwin, Marco & Emery, 1961). Para determinar CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> se extrajo una muestra del gas a 24 h, 48 h y 72 h de incubación con una jeringa de 1 mL y aguja hipodérmica. La concentración de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> se determinó en un cromatógrafo de gases Claurus 500 (Perkin Elmer) y una columna PE 6' x1/8 ODSS: Porapak 080/100. Las condiciones de análisis para los gases fueron: temperatura del horno 35 °C; temperatura del inyector TCD 130 °C; volumen de inyección 0.3 mL de forma manual; flujo de gas acarreador (helio) 23.5 mL min<sup>-1</sup> y tiempo de retención de CH<sub>4</sub> 0.73 min y CO<sub>2</sub> 1.05 min.

## Análisis estadístico

Los datos se agruparon por frecuencia de corte para su análisis estadístico, conforme al diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones y con arreglo en parcelas divididas, donde la parcela grande es el genotipo, y la parcela chica es la frecuencia de corte (30, 60, 90, y 120 días). La comparación múltiple de las medias de tratamientos se realizó con la prueba de Tukey ajustada ( $\alpha = 0.05$ ) mediante el procedimiento estadístico PROC GLM del software *Statistical Analysis Software* para Windows versión 9.3 (SAS, 2011).

## Resultados y Discusión

En lo referente a la cantidad de producción de biomasa, como es de esperarse, al aumentar la edad de la planta, incrementa la cantidad de forraje. La frecuencia de corte de 120 días superó considerablemente a las demás frecuencias ( $p < 0.05$ ) y produjo 146% más biomasa que la frecuencia de corte al día 30, 39% más biomasa que el corte al día 60 y 12% más biomasa que la frecuencia de corte del día 90. En las condiciones de este estudio, la cosecha cada 120 días fue superior en 4.8 Mg MS ha<sup>-1</sup> a diferencia de lo reportado por otros autores (Rengsirikul *et al.*, 2013) en pasto taiwán (*Pennisetum purpureum*), quienes obtuvieron 15.4 Mg MS ha<sup>-1</sup> cuando el pasto fue cortado cada 120 días. En otra investigación, Cárdenas-Ramírez *et al.* (2012) reportaron 18.2 Mg MS ha<sup>-1</sup> a cada frecuencia de corte de 90 días en pasto maralfalfa (*Pennisetum sp.*), rendimiento similar (18 Mg MS ha<sup>-1</sup>) al registrado en este estudio (tabla 1).

Para este trabajo, la fertilización a 43 y 112 días posteriores a la siembra probablemente ayudó a incrementar el rendimiento de biomasa aérea, ya que se encontraron rendimientos más altos que lo

reportado por Rengsirikul *et al.* (2013); aunque estos autores también fertilizaron las praderas al inicio de la investigación, la fuente nitrogenada no necesariamente incrementó el rendimiento de biomasa, ya que el rendimiento total y estacional de los forrajes depende de la especie y sus interacciones climáticas, como la precipitación, tasa de evaporación, humedad en el suelo, temperatura, viento, horas e intensidad de luz, entre otros factores que no se midieron en esta investigación. Por otro lado, Calzada-Marín *et al.* (2014) argumentan que los componentes morfológicos (hoja, tallo y material muerto) también determinan el rendimiento total y estacional de biomasa. Sin embargo, por tratarse de un pasto de porte alto y rendimientos de materia seca superiores a 35 t por hectárea, Ramos *et al.* (2013) y Rengsirikul *et al.* (2013) sugieren fertilizar y regar la pradera para no afectar la humedad y fertilidad del suelo, de tal manera que se garantice una buena persistencia por periodos prolongados.

La frecuencia de corte de 30 días superó considerablemente a las demás frecuencias en el contenido de PC ( $p < 0.05$ ). El paso del corte de 30 a 60 días disminuyó en un 34% y al pasar del corte de 30 a 120 días disminuyó en un 57%; entre las frecuencias de corte al día 60 y 90 no hubo diferencias ( $p < 0.05$ ; tabla 1). Nutricionalmente, los valores obtenidos a 30 días tienen mayor concentración de nitrógeno; sin embargo, a medida que la planta avanza en su estado fenológico, el contenido de proteína disminuye debido a la actividad metabólica (Chacón-Hernández & Vargas-Rodríguez, 2009), ya que el incremento de materia seca no-nitrogenada supera a la absorción de este elemento (Ramírez-Ordóñez, Domínguez-Díaz, Salmerón-Zamora, Villalobos-Villalobos & Ortega-Gutiérrez, 2013).

**Tabla 1.** Rendimiento y composición química del pasto maralfalfa (*Cenchrus purpureus*) a diferentes frecuencias de corte en clima cálido subhúmedo

Componente	Frecuencia de corte (días)				
	30	60	90	120	Media
Producción (Mg MS ha <sup>-1</sup> )	8.2(±0.99) <sup>d</sup>	14.5(±1.57) <sup>c</sup>	18.0(±4.33) <sup>b</sup>	20.2(±5.99) <sup>a</sup>	15.2 (±4.8)
Proteína cruda (%)	9.3(±0.24) <sup>a</sup>	6.1(±0.05) <sup>b</sup>	5.4(±0.32) <sup>b</sup>	4.0(±0.14) <sup>c</sup>	6.2(±2.0)
Fibra Detergente Neutra (%)	59.7(±0.27) <sup>d</sup>	64.6(±0.48) <sup>b</sup>	62.4(±0.90) <sup>c</sup>	66.7(±0.23) <sup>a</sup>	63.4(±2.7)
Fibra Detergente Ácida (%)	42.1(±0.05) <sup>d</sup>	50.0(±0.05) <sup>a</sup>	46.2(±0.80) <sup>c</sup>	49.9(±0.56) <sup>b</sup>	47.0(±3.4)
Lignina Detergente Ácida (%)	4.7(±0.06) <sup>a</sup>	4.6(±0.03) <sup>b</sup>	4.0(±0.04) <sup>d</sup>	4.4(±0.02) <sup>c</sup>	4.4(±0.2)
Celulosa (%)	37.4(±0.01) <sup>d</sup>	45.4(±0.02) <sup>a</sup>	42.2(±0.76) <sup>b</sup>	45.4(±0.54) <sup>a</sup>	42.6(±3.2)
Hemicelulosas (%)	17.6(±0.22) <sup>a</sup>	14.6(±0.43) <sup>d</sup>	16.2(±0.1) <sup>c</sup>	16.7(±0.3) <sup>b</sup>	16.3(±0.7)
Cenizas (%)	11.7(±0.05) <sup>a</sup>	10.2(±0.07) <sup>b</sup>	8.5(±0.01) <sup>c</sup>	7.4(±0.02) <sup>d</sup>	9.4(±1.7)
Humedad (%)	8.48(±0.49) <sup>a</sup>	7.57(±0.54) <sup>b</sup>	7.29(±0.53) <sup>b</sup>	6.94 (±0.37) <sup>b</sup>	7.5 (±0.6)
Energía (MJ kg <sup>-1</sup> MS)	15.7(±0.51) <sup>b</sup>	16.1(±0.30) <sup>a</sup>	16.1(±0.16) <sup>a</sup>	16.3(±0.38) <sup>a</sup>	16(±0.4)
Extracto etéreo (%)	0.91(±0.08) <sup>c</sup>	1.35(±0.05) <sup>ab</sup>	1.87(±0.25) <sup>a</sup>	1.24(±0.06) <sup>b</sup>	1.3(±0.4)

<sup>a,b</sup> Diferente literal minúscula en la misma hilera indica diferencias significativas entre cortes ( $p < 0.05$ ).

Fuente: Elaboración propia

En investigaciones previas evaluando el mismo pasto, Cárdenas-Ramírez *et al.* (2012) reportaron un contenido de PC en hoja de 12%, 9.5% y 8.2% a 30, 60 y 90 días de corte, respectivamente, lo cual indica reducciones de 21% al pasar del corte de 30 días al de 60 días, y una disminución del 32% al pasar del corte de 30 días al de 90 días ( $p < 0.05$ ), es similar a lo obtenido en el presente estudio. Así mismo, Márquez, Sánchez, Urbano & Dávila (2007) en otra investigación obtuvieron una reducción de 0.18% de PC por cada día que aumente el intervalo de corte en tres variedades de pasto elefante (*Pennisetum purpureum*). El valor nutricional en la planta está relacionado con la relación hoja:tallo, y en cultivares con mayor proporción de hojas la calidad nutricional tiende a ser mayor; sin embargo, en estudios previos, los resultados reportados

para pastos tropicales con mayor producción de materia seca corresponden a una frecuencia de corte mayor y un contenido de proteína menor (Villarreal, 1994).

El pasto maralfalfa mostró mayor contenido de PC a 30 días (9.5%) y un rendimiento de biomasa de (8.2 Mg MS ha<sup>-1</sup>); no obstante, aunque el contenido de PC fue mayor en etapas tempranas y considerando el patrón de crecimiento de los pastos, el cual depende de las reservas de carbohidratos, de la defoliación, de la intensidad y frecuencia de corte y por lo observado en campo para este pasto en particular, no es muy recomendable cortar a cada 30 días puesto que la mortalidad de tallos se incrementa y tiende a desaparecer de la pradera, afectando la persistencia.

Por otro lado, Calzada-Marín *et al.* (2014), evaluando el análisis de crecimiento del pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp.), reportaron que debe ser aprovechado en etapas tempranas (alrededor del día 75 dds), ya que el aporte de hoja contribuye al 50% del total del rendimiento de biomasa; posteriormente, se incrementa el porcentaje de tallo y material muerto. Considerando estas recomendaciones y los análisis químicos obtenidos en este experimento, la frecuencia de corte que mejor rendimiento de PC podría aportar la pradera es al día 60; ya que nos permite obtener un rendimiento aproximado de 5220 kg de PC ha<sup>-1</sup> año, comparado con el rendimiento de 3888 kg de PC ha<sup>-1</sup> año con la frecuencia de corte al día 90.

La FDN fue mayor a los 120 días (tabla 1), con 66.7% ( $p < 0.05$ ), con respecto a los demás días de corte. Por su lado, Gómez, Loya, Sanginés & Gómez (2015), cuando evaluaron frecuencias similares de corte en pasto maralfalfa, reportaron para FDN: 63%, 69%, 75% y 78%, a 30, 60, 90 y 120 días de corte, respectivamente. Estos valores son superiores a los resultados encontrados en el presente trabajo y, similarmente, se incrementan a medida que aumenta la edad en la planta. Además, Ansah, Osafo & Hansen (2010) reportaron 69%, 72% y 77% a 60, 90 y 120 días de corte, respectivamente, en *Pennisetum purpureum*. Otros investigadores como Cárdenas-Ramírez *et al.* (2012) argumentan que a medida que se incrementa la edad en la planta, el contenido de la pared celular también aumenta, ya que el contenido de FDN está correlacionado con la relación hoja:tallo, siendo de mayor proporción en el tallo y a medida que avanza la edad del *Pennisetum* sp., la biomasa de los tallos se incrementa (Calzada-Marín *et al.*, 2014), de tal manera que el contenido de FDN varía con respecto a la etapa fenológica de la planta, lo cual, puede afectar el consumo de la materia seca y degradabilidad del forraje (Moore & Undersander, 2002). Se observó la mayor concentración de FDA en la frecuencia de corte al día 60 ( $p < 0.05$ ) (tabla 1). Otros autores que evaluaron las mismas frecuencias de corte en *Pennisetum* sp. reportaron para FDA: 42%, 47%, 50% y 56% a 30, 60, 90 y 120 días de corte, respectivamente, pero indicaron que la frecuencia de corte al día 90 y 120 fue superior a las demás frecuencias (Gómez *et al.*, 2015). Existen reportes de 49%, 51% y 52%, a 60, 90 y 120 días de corte, respectivamente, lo cual indica que a medida que la planta madura, el contenido de FDA aumenta, esto se debe a que el contenido de celulosa y lignina aumentan conforme se incrementa la edad en la planta (Ansah *et al.*, 2010).

El mayor contenido de lignina al igual que la FDN aumentó con la edad de la planta y se encontró la mayor cantidad de lignina con 4.7% en la frecuencia de corte a 120 días ( $p < 0.05$ ; tabla1). En otros trabajos, Wongwatanapaiboon *et al.* (2012) obtuvieron 4.7% para el cultivar ruzi (*Brachiaria ruziziensis*), similar a lo registrado en la frecuencia de corte a 120 días; no obstante, estos autores reportan contenidos de 4.2% para el pasto napier (*Pennisetum purpureum*) y 4.5% para el pasto guinea (*Panicum máximum*), similar a las demás frecuencias de corte.

El mayor contenido de celulosa se presentó en las frecuencias de corte de 60 y 120 días (45.4%) y fue superior ( $p < 0.05$ ) a las demás frecuencias de corte (tabla 1). Existen reportes (Ansah *et al.*, 2010; Rengsirikul *et al.*, 2013) de concentraciones del 42.6% y 43% para el cultivar taiwán (*Pennisetum purpureum*) y napier (*Pennisetum purpureum*), respectivamente. Estos valores coinciden con los resultados obtenidos en las

frecuencias de corte del día 90; sin embargo, son inferiores a los obtenidos en las frecuencias de corte del día 60 y 120. No obstante, Ansah *et al.* (2010) registraron concentraciones del 37.2%, a los 90 días de corte, similar en su contenido a la frecuencia de corte del día 30 que presentó el menor contenido.

El contenido de hemicelulosa fue mayor y menor en la frecuencia de corte a 30 y 60 días con 17.6% y 14.6% ( $p < 0.05$ ; tabla 1). Scheller & Ulvskov (2010) y Ebringerová, Hromadkova & Heinze (2005) mencionan que las hemicelulosas son un grupo de polímeros de carbohidratos bastante complejos y constituyen el 25% de la biomasa en gramíneas. Por su parte, Moore & Undersander (2002) mencionan que existen reportes de 19.5% para el pasto napier (*Pennisetum purpureum*), 19.9% para *Brachiaria brizanta* (Cardona, Ríos, Peña & Ríos, 2013) y 22.5% para el cultivar maralfalfa (*Pennisetum glaucum* x *Pennisetum purpureum*) (Mateus, Hernández, Velásquez & Díaz, 2012), los cuales son mayores a lo encontrado en el presente experimento.

El contenido de ceniza fue disminuyendo a medida que la planta avanzó en su desarrollo fisiológico. El mayor contenido de cenizas se presentó en la frecuencia de corte a 30 días (11.7%) ( $p < 0.05$ ; tabla 1). En una investigación realizada por Cardona *et al.* (2013), los autores reportaron 11.1% para el pasto elefante (*Pennisetum purpureum*), similar a lo obtenido en la frecuencia de corte del día 30, el cual mostró el mayor contenido. En otras investigaciones se obtuvieron resultados de 7.7% a 11.6% en ocho cultivares del pasto *Pennisetum purpureum* (Rengsirikul *et al.*, 2013). En los pastos, las concentraciones de cenizas se relacionan con las estaciones del año, ubicación geográfica y estado fenológico de la planta. Esta última es la que mayor influencia tiene en el contenido de cenizas, ya que hay una de mayor concentración de cenizas a edades tempranas (Rengsirikul *et al.*, 2013).

En la tabla 1 se muestra el contenido de humedad (%) y el contenido energético ( $\text{MJ kg}^{-1}$  MS), donde las frecuencias de corte a 60, 90 y 120 días ( $p > 0.05$ ) fueron diferentes ( $p < 0.05$ ). La frecuencia de corte a 30 días mostró el menor contenido de energía ( $15.7 \text{ MJ kg}^{-1}$  MS) y mayor contenido de humedad (8.4%) sobre las demás frecuencias de corte. Al respecto, Rengsirikul *et al.* (2013) reportaron que el contenido energético fue de  $16.3 \text{ MJ kg}^{-1}$  en el cultivar tifton (*Pennisetum purpureum*), el cual fue similar a la frecuencia de corte a 60, 90 y 120 días y presentaron un contenido similar entre ellos ( $p > 0.05$ ). Estos autores reportaron  $16.0 \text{ MJ kg}^{-1}$  para el cultivar taiwán (*Pennisetum purpureum*), que es similar a la frecuencia de corte a 30 días ( $15.7 \text{ MJ kg}^{-1}$ ) y que presentó el menor contenido. Al evaluar el contenido energético, el contenido de agua limita la expresión calorífica, de tal modo que a mayores cantidades de agua, menor será el contenido energético; además, el contenido de agua influye directamente sobre las variables nutricionales. De esta manera, a mayores cantidades de agua en la planta, se necesitaría mayor cantidad de MS para satisfacer los requerimientos nutricionales en el animal, tal como sucedería si solo se aprovechara la frecuencia de corte de 30 días, donde se encontró un 9% de humedad.

Las frecuencias de corte a 60 y 90 días ( $p > 0.05$ ) obtuvieron el mayor contenido de extracto etéreo con un promedio de 1.61% (tabla 1). En una investigación realizada en *Pennisetum purpureum*, Chacón-Hernández & Vargas-Rodríguez (2009) reportaron 1.4% y 1.2% a 60 y 90 días de corte, respectivamente, los cuales son valores similares a los encontrados en la frecuencia de 120 días con 1.24% de extracto etéreo.

La degradabilidad *in vitro* del pasto maralfalfa disminuyó a medida que se incrementó la frecuencia de corte (tabla 2). El mayor porcentaje de degradabilidad se presentó en la frecuencia de corte de 30 días (55.6%;  $p < 0.05$ ). Barrera-Álvarez *et al.* (2015) encontraron para el pasto maralfalfa a 30 días de corte la mayor tasa de degradación *in situ* a 72 h de incubación ( $p < 0.001$ ), lo cual es similar a lo encontrado en el presente estudio. Altas tasas de degradación indican una mayor disponibilidad de nutrientes para los microorganismos en el rumen, mientras que a medida que la planta avanza en su estado fenológico, los cambios en la pared celular incrementan el contenido de FDN, limitando la velocidad de fermentación de los sustratos (Juárez *et al.*, 2009). La degradabilidad *in vitro* y la producción total de AGV se correlacionan

positivamente, como lo mencionan Moss, Jouany & Newbold (2000) y Sánchez-Santillán & Cobos-Peralta (2016). En este experimento así se comportaron los resultados, existió una mayor producción de AGV totales y se incrementó la degradación *in vitro*, debido a una mayor cinética de fermentación en los cortes iniciales.

La producción total de AGV fue mayor ( $p < 0.05$ ) a 30 días de corte (119.16 mmol) y la producción total de AGV fue disminuyendo constantemente a medida que incrementó la frecuencia de corte. Una mayor producción de AGV totales está relacionada con una mayor fermentación, lo cual tiene un efecto positivo sobre una mayor disponibilidad de energía para el rumiante (Juárez *et al.*, 2009). El ácido acético superó la producción de ácido propiónico y butírico ( $p < 0.05$ ). Dietas altas en forraje con esquilmo de maíz de 60% en la ración aumentan la producción de ácido acético; por tanto, hay una mayor relación acético:propiónico, con una disminución en ácido propiónico y butírico (Renhua, Hongming, Zhiping & Yongxing, 2013); un efecto similar fue observado en esta investigación (tabla 2). Ya que los forrajes aportan pocas cantidades de ácido propiónico y butírico, es necesario complementar las raciones con granos de aporte energético y proteico para llevar a cabo una fermentación entérica completa y se obtengan los mejores resultados en cuanto a eficiencia alimenticia.

La producción de CH<sub>4</sub> presentó el mismo comportamiento que la producción de AGV; la mayor producción se obtuvo en la frecuencia de corte cada 30 días (11.9%; tabla 2), mientras que a medida que la planta avanzó en su madurez fisiológica, disminuyó la producción de CH<sub>4</sub>, además de que la producción de metano está relacionada estequiométricamente con el perfil de AGV (Moss *et al.*, 2000). La calidad de la dieta afecta la producción de CH<sub>4</sub>, y se esperaría una mayor producción de CH<sub>4</sub> donde hay altas concentraciones de carbohidratos estructurales, como en el caso del presente cultivar a 90 y 120 días de corte. Esto a su vez contribuye a una baja digestibilidad de la materia seca (Meale, Chaves, Baah & McAllister, 2012); sin embargo, esta situación no ocurre en esta investigación y hasta ahora no existen reportes que coincidan con estos resultados, bajo las condiciones y metodología similares.

**Tabla 2.** Degradabilidad y producción de AGV mediante la técnica de producción de gas *in vitro* del pasto Maralfalfa (*Cenchrus purpureus*) a diferentes frecuencias de corte en clima cálido subhúmedo.

Componente	Frecuencia de corte (días)				Media
	30	60	90	120	
Degradabilidad (%)	55.69(±3.99) <sup>a</sup>	50.57(±2.0) <sup>b</sup>	46.96(±2.46) <sup>c</sup>	42.49(±3.14) <sup>d</sup>	48.9(±4.8)
CH <sub>4</sub> (%)	11.90(±0.34) <sup>a</sup>	11.65(±0.74) <sup>b</sup>	10.75(±0.65) <sup>c</sup>	10.28(±0.64) <sup>d</sup>	11.1(±0.6)
CO <sub>2</sub> (%)	88.1(±0.34) <sup>d</sup>	88.3(±0.74) <sup>c</sup>	89.2(±0.65) <sup>b</sup>	89.7(±0.64) <sup>a</sup>	88.8(±0.6)
Acético (mmol)	77.85(±5.5) <sup>a</sup>	76.01(±1.15) <sup>b</sup>	70.40(±0.59) <sup>c</sup>	68.73(±0.85) <sup>d</sup>	73.2(±3.8)
Propiónico (mmol)	29.41(±2.36) <sup>a</sup>	28.71(±0.47) <sup>b</sup>	26.44(±0.23) <sup>c</sup>	25.84(±0.29) <sup>d</sup>	27.6(±1.5)
Butírico (mmol)	12.65(±1.14) <sup>a</sup>	11.38(±0.42) <sup>b</sup>	9.78(±0.20) <sup>c</sup>	9.54(±0.20) <sup>d</sup>	10.8(±1.2)
Total AGV (mmol)	119.16(±3.31) <sup>a</sup>	116.10(±1.90) <sup>b</sup>	106.63(±0.94) <sup>c</sup>	104.12(±1.29) <sup>d</sup>	111.6(±6.5)

<sup>a,b</sup> Diferente literal minúscula en la misma hilera indica diferencias significativas entre cortes ( $p < 0.05$ ).

Fuente: Elaboración propia.

Boadi & Wittenberg (2002), cuando pastorearon novillos en praderas con un forraje tierno, obtuvieron la menor producción de CH<sub>4</sub> (hasta un 45%), y la mayor se dio cuando el pastoreo fue con forrajes maduros; los resultados contrastan con el presente estudio, ya que la mayor producción de CH<sub>4</sub> se presentó cuando el forraje estaba tierno (30 días). Sin embargo, Knapp, Laur, Vadas, Weiss & Tricarico (2014) concluyeron que existe una relación directa entre el ácido acético y butírico, puesto que ambos promueven la producción de CH<sub>4</sub>; por ello, la producción de CH<sub>4</sub> tiende a ser mayor cuando hay mayor presencia de estos AGV, mientras que la producción de propionato puede considerarse como una ruta que compite por el uso de hidrógeno en el rumen.

## Conclusiones

El rendimiento de materia seca del pasto maralfalfa se incrementa a medida que avanza la madurez fisiológica en la planta. La frecuencia de corte al día 60 mostró el mayor rendimiento de PC por hectárea; similarmente, los carbohidratos estructurales y el contenido de energía también fueron mejores en esta etapa de corte. Por su parte, la digestibilidad de la materia seca y la producción total de ácidos grasos volátiles se mantienen en un nivel competitivo, permitiendo en el animal una producción eficiente de nutrientes. Se recomienda utilizar el pasto maralfalfa como forraje de corte en las zonas tropicales de México.

## Referencias

- Ansah, T., Osafo, E. L. K., & Hansen, H. H. (2010). Herbage yield and chemical composition of four varieties of Napier (*Pennisetum purpureum*) grass harvested at three different days after planting. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1(5), 923-929.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (1990). *Official Methods of Analysis*. USA: AOAC International.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (1996). *Standard Test Method for gross calorific value of refuse-derived fuel by the bomb calorimeter*. Annual Book of ASTM Standards.
- Barrera-Álvarez, A., Avellaneda-Ceballos, J. H., Tapia-Moreno, E. O., Peña-Galeas, M. M., Molina-Hidrovo, C. A., & Casanova-Ferrin, L. M. (2015). Chemical composition and degradation four species of *Pennisetum* sp. *Ciencia y Tecnología*, 8(2), 13-27.
- Boadi, D. A., & Wittenberg, K. M. (2002). Methane production from dairy and beef heifers fed forages differing in nutrient density using the sulphur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) tracer gas technique. *Canadian Journal of Animal Science*, 82(2), 201-206. doi: <https://doi.org/10.4141/A01-017>
- Bonilla Cárdenas, J. A., & Lemus Flores, C. (2012). Enteric methane emission by ruminants and its contribution to global climate change. Review. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 3(2), 215-246.
- Calzada-Marín, J. M., Enríquez-Quiroz, J. F., Hernández-Garay, A., Ortega-Jiménez, E., & Mendoza-Pedroza, S. I. (2014). Análisis de crecimiento del pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp.) en clima cálido subhúmedo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 5(1), 247-260.
- Cárdenas-Ramírez, L. R., Pinto-Ruiz, R., Medina, F. J., Guevara, F., Gómez, H., Hernández, A., & Carmona J. (2012). Producción y calidad del pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp.) durante la época seca. *Quehacer Científico en Chiapas*, 1(13), 38-46.
- Cardona, E. M., Ríos, J. A., Peña, J. D., & Ríos, L. A. (2013). Pretratamiento alcalino de pasto Elefante (*Pennisetum* sp.) y King grass (*Pennisetum hybridum*) cultivados en Colombia para la producción de bioetanol. *Información Tecnológica*, 24(5), 69-80.
- Chacón-Hernández, P. A., & Vargas-Rodríguez, C. F. (2009). Degradabilidad y calidad del *Pennisetum purpureum* cv. King grass a tres edades de rebrote. *Agronomía mesoamericana*, 20(2), 399-408.
- Chemiskuy, A. M., Giussani, L. M., Scataglini, M. A., Kellogg, E. A., & Morrone, O. (2010). Phylogenetic studies favour the unification of *Pennisetum*, *Cenchrus* and *Odontelytrum* (Poaceae): a combined nuclear, plastid and morphological analysis, and nomenclatural combinations in *Cenchrus*. *Annals of Botany*, 106(1), 107-130. doi: <https://doi.org/10.1093/aob/mcq090>
- Dijkstra, J. (1994). Production and absorption of volatile fatty acids in the rumen. *Livestock Production Science*, 39(1), 61-69. doi: [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(94\)90154-6](https://doi.org/10.1016/0301-6226(94)90154-6)
- Ebringerová, A., Hromadkova, Z., & Heinze, T. (2005). Hemicellulose. *Advances in Polymer Science*, 186, 1-67.
- Enríquez Quiroz, J. F., & Romero Mora, J. (1999). Tasa de crecimiento estacional a diferentes edades de rebrote de 16 ecotipos de *Brachiaria* spp. en Isla, Veracruz. *Agrociencia*, 33(2), 141-148.
- Erwin, E. S., Marco, G. J., & Emery, E. M. (1961). Volatile fatty acid analyses of blood and rumen fluid by gas chromatography. *Journal of Dairy Science*, 44(9), 1768-1771. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(61\)89956-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(61)89956-6)

- García, E. (2004). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen*. México, D. F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Goering, H. K., & Van Soest, P. J. (1970). *Forage Fiber Analysis (Apparatus, Reagents, Procedures, and some Applications)*. Washinton, DC, USA: Department of Agriculture.
- Gómez Gurrola, A., Loya Olguín, J. L., Sanginés García, L., & Gómez Gurrola, J. A. (2015) Chemical composition and yield of *Pennisetum purpureum* grass during rainy season at different maturity. *Educatconciencia*, 6(7), 68-74.
- Harper, K. J., & McNeill, D. M. (2015). The Role iNDF in the Regulation of Feed Intake and the Importance of Its Assessment in Subtropical Ruminant Systems (the Role of iNDF in the Regulation of Forage Intake). *Agriculture*, 5, 778-790.
- Johnson, K. A., & Johnson, D. E. (1995). Methane emissions from cattle. *Journal Animal Science*, 73(8), 2483-2492. doi: <https://doi.org/10.2527/1995.7382483x>
- Juárez Reyes, A. S., Cerrillo Soto, M. A., Gutiérrez Ornelas, E., Romero Treviño, E. M., Colín Negrete, J., & Bernal Barragán, H. (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*, 47(1), 55-67.
- Knapp, J. R., Laur, G. L., Vadas, P. A., Wess, W. P., & Tricarico, J. M. (2014). Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of Dairy Science*, 97(6), 3231-3261. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7234>
- López-Guerrero, I., & Enríquez-Quiroz, J. F. (2011). *Programa Estratégico para el Desarrollo Rural Sustentable de la Región SurSureste de México: Trópico Húmedo 2011. Paquete Tecnológico Zacate Pennisetum purpureum: Establecimiento y Producción*. Veracruz: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).
- Lounglawan, P., Lounglawan, W., & Suksombat, W. (2014). Effect of cutting interval and cutting height on yield and chemical composition of king napier grass (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum americanum*). *APCBEE Procedia*, 8, 27-31. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2014.01.075>
- Márquez, F., Sánchez, J., Urbano, D., & Dávila, C. (2007). Evaluación de la frecuencia de corte y tipos de fertilización sobre tres genotipos de pasto Elefante (*Pennisetum purpureum*). 1. Rendimiento y contenido de proteína. *Zootecnia Tropical*, 25(4), 253-259.
- Mateus, L., Hernández, O., Velásquez, M., & Díaz, J. (2012). Dilute sulfuric acid pretreatment of goliath grass (*Pennisetum glaucum* x *Pennisetum purpureum*) for ethanol cellulosic. *Revista Colombiana de Biotecnología*, XIV (1), 146-156.
- Meale, S. J., Chaves, A. V., Baah, J., & McAllister, T. A. (2012). Methane Production of Different Forages in In vitro Ruminant Fermentation. *Asian-Aust. Journal Animal Science*, 25(1), 86-91.
- Menke, K. H., Raab, L., Salewski, A., Steingass, H., Fritz, D., & Schneider, W. (1979). The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. *Journal Agricultural Science*, 93(1): 217-222.
- Moore, J. E., & Undersander, D. J. (2002). Relative forage quality: an alternative to relative feed value and quality index. *13th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium*. Florida Dairy Extension. University of Florida.
- Moss, A. R., Jouany, J. P., & Newbold, J. (2000). Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Annales de Zootechnie*, 49(3), 231-253. doi: <https://doi.org/10.1051/animres:2000119>
- Pinder, R. S., & Patterson, J. A. (2012). Glucose and Hydrogen Utilization by an Acetogenic Bacterium Isolated from Ruminant Contents. *Agriculture Food and Analytical Bacteriology*, 2(4), 253-274.
- Ramírez, J. F., Posada Ochoa, S., & Noguera, R. (2014). Ruminant methanogenesis and mitigation strategies. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 9(2), 307-323.
- Ramírez-Ordóñez, S., Domínguez-Díaz, D., Salmerón-Zamora, J. J., Villalobos-Villalobos, G., & Ortega-Gutiérrez, J. A. (2013). Producción y calidad del forraje de variedades de avena en función del sistema de siembra y de la etapa de madurez al corte. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(4), 395-403.
- Ramos-Trejo, O., Canul-Solís, J. R., & Duarte-Vera, F. J. (2013). Production of three varieties of *Pennisetum purpureum* fertilized with two different sources of nitrogen in Yucatan, Mexico. *Revista Bio Ciencias*, 2(2), 60-68. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.02.02.07>

- Renhua, N., Hongming, D., Zhiping, Z., & Yongxing, C. (2013). Effects of forage type and dietary concentrate to forage ratio on methane emissions and rumen fermentation characteristics of dairy cows in China. *Agricultural and Biosystems Engineering*, 56(3), 1115-1122.
- Rengsirikul, K., Ishii, Y., Kangvansaichol, K., Prapa, S., Punsuvon, V., Vaithanomsat, P., Nakamane, G., & Sayan, T. (2013). Biomass yield, chemical composition and potential ethanol yields of 8 cultivars of napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schumach.) harvested 3-monthly in central Thailand. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*, 3(2), 107-112. doi: <http://dx.doi.org/10.4236/jsbs.2013.32015>
- Rueda, J. A., Ortega-Jiménez, E., Hernández-Garay, A., Enríquez-Quiroz, J. F., Guerrero-Rodríguez, J. D., & Quero-Carrillo, A. R. (2016). Growth, yield, fiber content and lodging resistance in eight varieties of *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone intended as energy crop. *Biomass and Bioenergy*, 88, 59-65. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.03.007>
- Sánchez-Santillán, P., & Cobos-Peralta, M. A. (2016). *In vitro* production of volatile fatty acids by reactivated cellulolytic bacteria and total ruminal bacteria in cellulosic substrate. *Agrociencia*, 50, 565-574. 2016.
- Statistical Analysis Software (SAS), Institute. (2011). *SAS/STAT User's Guide. Release 9.3*. Cary, NC.: SAS Institute Inc.
- Scheller, V. H., & Ulvskov, P. (2010). Hemicelluloses. *Annual Review Plant Biology*, 61, 263-289
- Schofield, P., Pitt, R. E., & Pell, A. N. (1994). Kinetics of fiber digestion from *in vitro* gas production. *Journal of Animal Science*, 72, 2980-2991.
- Theodorou, M. K., Williams, B. A., Dhanoa, M. S., McAllan, A. B., & 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*, 48, 185-197. doi: [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90171-6](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90171-6)
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, 3583-3589.
- Villarreal, M. (1994). Valor nutritivo de gramíneas y leguminosas forrajeras en San Carlos, Costa Rica. *Pasturas Tropicales*, 16(1), 27-31.
- Wongwatanapaiboon, J., Kangvansaichol, K., Burapatana, V., Inochanon, R., Winayanuwattikun, P., Yongvanich, T., & Chulalaksananukul, W. (2012). The potential of cellulosic ethanol production from grasses in Thailand. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2012, 303748. doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2012/303748>