

Rendimiento y calidad de forraje obtenido con el pasto maralfalfa cosechado a diferentes edades de rebrote en Durango, México

Yield and quality of forage obtained with maralfalfa grass harvested at different regrowth ages in Durango, Mexico

Cynthia Adriana Nava-Berumen*, Francisco Oscar Carrete-Carreón**, Rigoberto Rosales-Serna***, Osvaldo Reyes-Estrada **†, Pablo Alfredo Domínguez-Martínez***✉, Esperanza Herrera-Torres*

Nava-Berumen, C. A., Carrete-Carreón, F. O., Rosales-Serna, R., Reyes-Estrada, O., Domínguez-Martínez, P. A., & Herrera-Torres, E. (2021). Rendimiento y calidad de forraje obtenido con el pasto maralfalfa cosechado a diferentes edades de rebrote en Durango, México. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, 29(84), e3070, <https://doi.org/10.33064/iycuaa2021843070>

RESUMEN

El objetivo fue evaluar rendimiento y calidad de forraje en maralfalfa (*Pennisetum* sp.) a diferentes edades de corte. El diseño experimental fue completamente aleatorio con seis repeticiones. Se realizaron muestreos 73, 86, 100 y 114 días después del riego de rebrote (DDRR). Se evaluó rendimiento de forraje fresco (FF) y seco (FS), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), hemicelulosa (HE), celulosa (CE), lignina, digestibilidad in vitro (DIVMS), valor relativo de forraje (VRF), calidad relativa de forraje (CRF) y producción de gas in vitro (PG). El rendimiento más alto de FF (232.5 t ha⁻¹) y FS (39.0 t ha⁻¹) fue 100 DDRR. La PC más alta fue a los 73 DRI (9.1%), mientras FDN (76.3%), FDA (51.7%) y CE (42.6%) se incrementaron y la DIVMS se redujo (50.3%). Se recomienda cosechar forraje de maralfalfa 80 DDRR, para obtener mejor balance rendimiento/calidad.

Palabras clave: *Pennisetum* sp.; producción de gas; calidad relativa; valor relativo.

Recibido: 5 de febrero de 2021 Aceptado: 6 de septiembre de 2021

*Tecnológico Nacional de México campus Valle del Guadiana. Km 22.5, Carretera Durango-México, Durango, C. P. 34170, Dgo., México. Correo electrónico: cadrianan@hotmail.com; hetoes99@yahoo.com.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7169-5554>; <https://orcid.org/0000-0002-3821-4923>

**Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango. Km 11.5, Carretera Durango-El Mezquital, Durango, C. P. 34170, Dgo., México. Correo electrónico: focc1928mx@yahoo.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3372-0306>

***Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental Valle del Guadiana. Km 4.5, Carretera Durango-El Mezquital, Durango, C. P. 34170. Dgo., México. Correo electrónico: rosales.rigoberto@inifap.gob.mx; dominguez.pablo@inifap.gob.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2185-0907>; <https://orcid.org/0000-0001-9311-3183>

✉ Autor para correspondencia

ABSTRACT

The objective was to evaluate forage yield and quality in maralfalfa (*Pennisetum* sp.) cultivated in Durango. The experiment arrangement was a completely randomized design with six replications. Sampling occurred at 73, 86, 100 and 114 days after initial irrigation (DAII). Data was recorded for fresh (FF) and dry forage yield (DF), crude protein (CP), neutral (NDF) and acid detergent fiber (ADF), hemicellulose (HE), cellulose (CE), lignin, in vitro dry matter digestibility (IVDMD), relative feed value (RFV), relative forage quality (RFQ) and in vitro gas production (GP). Highest yield for FF (232.5 t ha⁻¹) and DF (39.0 t ha⁻¹) was obtained 100 DAII. A higher proportion of CP (9.1%) was registered 73 DAII, while higher NDF (76.3%), ADF (51.7%) and CE (42.6%) and lower IVDMD (50.3%) at 114 DAII. To balance between yield and quality, maralfalfa forage should be harvested around 80 DAII.

Keywords: *Pennisetum* sp.; gas production; relative forage quality; relative forage value.

INTRODUCCIÓN

La maralfalfa es una especie vegetal perenne del género *Pennisetum* introducida en México para la producción intensiva de forraje, la cual fue promocionada por su calidad nutricional con base en el contenido alto de proteína. Se estableció que esta especie posee un valor nutritivo ligeramente superior al observado en la mayoría de los pastos tropicales, por lo que puede ser utilizada en la alimentación de ganado bovino lactante y en crecimiento (Clavero & Razz, 2009). Por esta razón, existió interés inicial en la plantación de un alto número de hectáreas con esta gramínea, con el fin de abastecer las necesidades de forraje y reducir el déficit de suplementos proteicos que se tiene actualmente en Durango y otras entidades del norte de México.

Derivado de la promoción inicial de la maralfalfa se consideró necesaria la evaluación del rendimiento y calidad de forraje en esta especie cultivada en Durango. Se determinó el grado de adaptación y se establecieron las recomendaciones técnicas para su cultivo y uso en la alimentación del ganado bovino (Jiménez, Domínguez, Rosales, Nava, & Carrete, 2014; Ortiz Robledo, Reyes Estrada, Herrera Corral, Rosales Serna, & Jiménez Ocampo, 2016; & Ortiz Robledo et al., 2017). El estudio de la maralfalfa permitió la determinación de su utilidad en la reducción de costos de alimentación y fortalecimiento de la productividad del ganado bovino en la época seca del año. Se esperaba incrementar la producción intensiva de forraje en Durango y, con ello, reducir la dependencia que se tiene del pastizal para la alimentación del ganado, al cual se destina 19.0% de la superficie estatal y equivale a 2.3 millones de hectáreas (INEGI, 2014). El rendimiento de maralfalfa en Durango alcanzó cerca de 240 t ha⁻¹ de forraje verde y 40 t ha⁻¹ de materia seca, el cual se obtuvo en rebrotes y un periodo de 100 días después del riego inicial (Jiménez et al., 2014). El contenido de proteína fue inferior a la expectativa inicial, fluctuando entre 4.9 y 12.7% (Ortiz Robledo et al., 2016), lo cual en combinación con el contenido alto de agua y el prurito causado por los bordes pilosos de láminas y vainas foliares desalentó la plantación de maralfalfa en algunos sitios de Durango.

El conocimiento del valor nutritivo de los forrajes y suplementos alimenticios es el fundamento de la nutrición animal. Por ello, existen múltiples pruebas para evaluar la calidad del forraje, aunque las más importantes son el estudio de la composición química, digestibilidad verdadera in vitro, degradabilidad in situ (Giraldo, Gutierrez, & Rúa, 2007; Nava Berumen et al., 2017) y la producción de gas in vitro (Murillo, Herrera, Carrete, Ruiz, & Serrato, 2012). La composición química, especialmente la proporción de proteína, es un atributo que se debe medir en el forraje con la finalidad de establecer su utilidad en la reducción de costos de alimentación en Durango. La producción de gas generada por la incubación con microorganismos ruminales es considerada como una medida indirecta de la digestibilidad de las fracciones solubles e insolubles, así como del contenido de energía metabolizable de los forrajes (Vargas-Bayona, Mejía-Porras, Bedoya-Mashuth, & Gómez Patiño, 2013). El objetivo fue evaluar el rendimiento y calidad del forraje obtenido del pasto maralfalfa cultivado en Durango.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó un lote de 6 ha, plantado con 21,000 plantas ha⁻¹ de maralfalfa durante 2013, en el poblado La Ferrería municipio de Durango, Dgo., México (figura 1). El sitio experimental se ubicó a los 23° 57' 45" N, 104° 39' 49" O y una elevación sobre el nivel medio del mar de 1,884 m (Medina García, Díaz Padilla, López Hernández, Ruiz Corral, & Marín Silva, 2006). El suelo predominante del sitio es del tipo franco (arcillo-arenoso), el cual tiene capacidad intermedia para la retención de humedad, profundidad media, pendiente de 0 a 2%, pH de 7.4 y es pobre en contenido de materia orgánica, fósforo y nitrógeno. El clima predominante en la región es templado semiárido [BS₁ kw (w) (e)], con régimen de lluvias en verano, variación fuerte de temperatura y la media anual para esta variable es de 17.4 °C (García, 1987). La lluvia acumulada durante el año alcanza un promedio de 476 mm, con valores altos entre junio y septiembre (Medina García et al., 2006).

Después del inicio del periodo libre de heladas se aplicó un corte de homogenización y se iniciaron los riegos en marzo de 2014 para promover el rebrote y crecimiento de las plantas. Se fertilizó con la dosis 120-60-00 (N-P₂O₅-K₂O) distribuida en dos aplicaciones: al momento de la siembra (60-60-00) y 94 días después del riego de rebrote (DDRR) (60-00-00). Como fuente de nitrógeno y fósforo se utilizó fosfato diamónico y urea para complementar la aplicación de nitrógeno (Agricenter Zevilla S.A. de C.V. Durango, México). Además de la lluvia ocurrida, durante la duración del estudio se aplicaron cuatro riegos de auxilio en intervalos de 28 días, con una lámina de riego de 15 cm. El control de la maleza se realizó mediante dos escardas [15 y 30 días después del rebrote (DDR), respectivamente] y una aplicación del herbicida 2,4-D (45 DDR): sal dimetilamina del ácido 2,4-Diclorofenoxiacético, a razón de 1 L ha⁻¹ (Syngenta, México).



Figura 1. Lote plantado con pasto maralfalfa en el poblado La Ferrería municipio de Durango, Dgo., México.
Fotografía tomada por Pablo Alfredo Domínguez-Martínez.

Determinación del rendimiento de forraje fresco y seco

Se realizaron muestreos para la evaluación del rendimiento de forraje fresco y forraje seco a cuatro edades de las plantas después del rebrote, los cuales se iniciaron el 20 de junio de 2014 y tuvieron un intervalo de dos semanas [20 de junio (73 DDDR), 3 de julio (86 DDDR), 17 de julio (100 DDDR) y 31 de julio (114 DDDR)]. Se utilizó 1 ha como parcela experimental, en ella se ubicaron al azar seis unidades experimentales de 4.86 m² para la recolección de muestras en las fechas antes descritas. Las plantas incluidas en el sitio de muestreo se cortaron 5 cm por arriba del suelo, se pesó el forraje verde en campo, con el uso de una balanza digital con precisión de 0.01 g. Después, se tomó una submuestra de peso definido (5 kg), obtenido a partir de plantas completas, las cuales se picaron para facilitar el secado de tallos y hojas. Las submuestras se secaron hasta peso constante en una estufa de aire forzado (modelo H-1.25, Ríos Rocha, S. A., México) a 50 °C durante 48 horas, para determinar el peso seco del forraje mediante extrapolación del porcentaje de materia seca al total de la muestra obtenida en cada una de las parcelas útiles. Las muestras fueron molidas en un molino (Laboratory Mill Model 4, Thomas Wiley, EE. UU.) hasta obtener un tamaño de partícula de 1 mm para los análisis de composición química, digestibilidad in vitro de la materia seca y producción de gas in vitro.

Composición química y digestibilidad in vitro de la materia seca

La proteína cruda (PC) se evaluó por el método Kjeldahl, según la AOAC (1990), el cual incluyó la cuantificación del nitrógeno total y luego el valor obtenido se multiplicó por el factor 6.25. La fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA) y lignina (L) se determinaron con base en el método ANKOM (2005), en el cual se consideró la utilización de bolsas ANKOM F57. La hemicelulosa se calculó por diferencia (HE= FDN - FDA), al igual que la celulosa (CE= FDA - LDA). Las muestras molidas de forraje se sometieron a una fermentación anaeróbica durante 48 h a 39 °C, para la determinación de la digestibilidad verdadera in vitro de la materia seca (DIVMS). La fermentación se realizó con líquido ruminal, el cual se obtuvo de dos bovinos macho fistulados, con 700 kg de peso vivo promedio; los cuales fueron alimentados con heno de alfalfa, ensilado de maíz y concentrado comercial con 12% de proteína. El proceso de fermentación se realizó en la incubadora Daisy^{II} (ANKOM Technology Corp., Macedon, NY) siguiendo el protocolo sugerido por el fabricante (ANKOM, 2011). En la determinación de la digestibilidad in vitro se utilizó el protocolo propuesto por el fabricante de la incubadora Daisy^{II} (ANKOM Technology, Macedon, NY, EE. UU.).

Valor relativo de forraje y calidad relativa de forraje

Se calcularon los índices de calidad relativa del forraje (CRF) y el valor relativo de forraje (VRF) con las siguientes ecuaciones (Moore & Undersander, 2002):

$$VRF = \frac{(CMS)(MSD)}{1.29} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$CMS = \frac{120}{\% FDN} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$MSD = 88.9 - [(0.779)(\% FDA)] \quad \text{Ecuación 3}$$

$$CRF = \frac{(CMS)(TND)}{123} \quad \text{Ecuación 4}$$

donde: VRF= valor relativo de forraje, CMS= consumo de materia seca, MSD= materia seca digestible, FDN= fibra en detergente neutro, FDA= fibra en detergente ácido, CRF= calidad relativa del forraje y TND= total de nutrientes digestibles.

Producción de gas in vitro

Se determinó en un sistema ANKOM® mediante la técnica propuesta por el fabricante del equipo (ANKOM, 2012). Para ello, se colocó 1.0 g de muestra en frascos de 250 ml y se agregaron 120 ml de una solución que contenía buffer y líquido ruminal. Se utilizó líquido ruminal obtenido de un bovino macho fistulado del rumen con un peso aproximado de 450 kg. Se purgaron los frascos con CO₂ y se cerraron de forma hermética. Se incluyeron dos frascos como blanco, los cuales contenían únicamente el buffer y el líquido ruminal. Los frascos se colocaron en baño maría a 39 °C y se midió cada 60 minutos, de forma automática, la presión de gas durante 96 horas de incubación. La presión (psi) producida durante el estudio se transformó a moles mediante el uso de la ecuación del gas ideal (Ecuación 1):

$$n = p \frac{V}{RT} \quad \text{Ecuación 5}$$

donde: n = gas producido en moles (mol), p = presión en kilopascales (kPa), V = volumen entre el líquido y la cabeza del frasco, R = constante de gas (8.314472 L.kPa. K⁻¹ mol⁻¹) y T = temperatura en grados Kelvin. Una vez transformados los datos se obtuvieron los parámetros de fermentación ruminal con base en el modelo de Gompertz (Lavrenčič, Stefanon, & Susmel, 1997), el cual mostró el ajuste requerido de acuerdo con la Ecuación 2:

$$Yt = a * \exp \{[-b * (\exp(-c * t))]\} \quad \text{Ecuación 6}$$

donde: Yt = producción de gas al tiempo t , a = volumen de gas correspondiente a la completa digestión del sustrato (asíntota), b = factor constante de eficiencia microbiana, c = tasa constante de producción de gas del material potencialmente degradable y t = tiempo de incubación. Los parámetros de producción de gas in vitro se obtuvieron en Excel® por el método de mínimos cuadrados y se utilizó el módulo SOLVER® de programación lineal.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron mediante el procedimiento GLM, en un diseño completamente al azar y seis repeticiones. Cuando se obtuvieron diferencias estadísticas, se realizó la comparación de medias con base en la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los parámetros de la producción de gas in vitro se obtuvieron por mínimos cuadrados con ayuda de la herramienta Excel – Solver®. Los análisis estadísticos se realizaron mediante la utilización del paquete estadístico SAS® Ver. 9.2.

RESULTADOS

Rendimiento de forraje fresco y seco

Se obtuvieron diferencias altamente significativas para el rendimiento de forraje fresco ($p \leq 0.0003$) y forraje seco ($p \leq 0.0001$) entre edades de rebrote (tabla 1). El rendimiento de forraje verde se incrementó en 228.16% entre los cortes realizados a los 73 y 100 DDDR (figura 2); mientras que el rendimiento de forraje seco (figura 3) aumentó casi cinco veces entre el primer y tercer corte (73 y 100 DDDR, respectivamente).

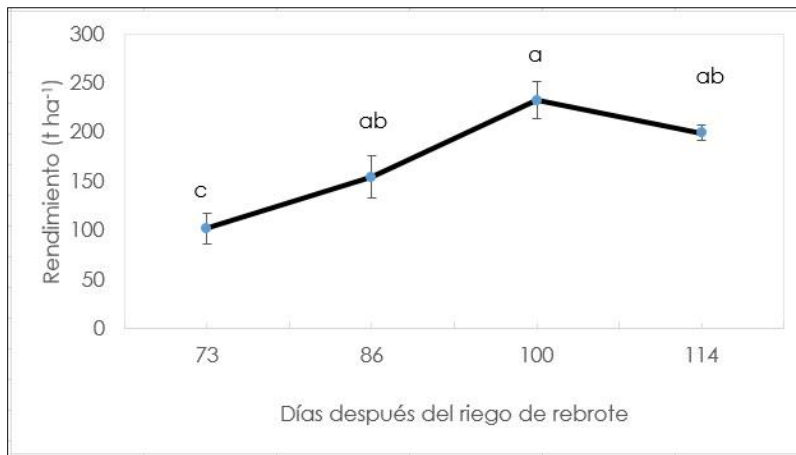


Figura 2. Rendimiento de forraje fresco a cuatro edades de rebrote en pasto maralfalfa cultivado en Durango, México. Elaboración propia.

Tabla 1
Cuadrados medios del análisis de varianza para variables relacionadas con el rendimiento y calidad de forraje obtenido en cuatro edades de rebrote de maralfalfa cultivada en Durango, México

Fuente de variación	Grados de libertad	Forraje fresco	Forraje seco	Valor relativo del forraje	Calidad relativa del forraje
Edad del rebrote	3	19251.0	1351.8	321.5	68.3
Error	20	1933.3	81.9	103.5	32.9
¹ C. V. (%)		25.6	39.6	14.9	7.2
P		0.0003	0.0001	0.0889	0.1816

Nota: ¹C. V. = coeficiente de variación, p = valor de p.
Elaboración propia.

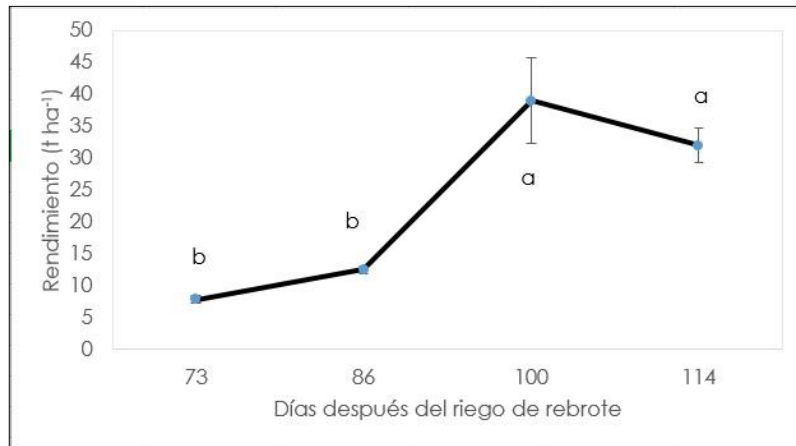


Figura 3. Rendimiento de forraje seco a cuatro edades de rebrote en pasto maralfalfa cultivado en Durango, México. Elaboración propia.

Composición química y digestibilidad in vitro de la materia seca

Se detectaron diferencias altamente significativas entre edades del rebrote para PC ($p \leq 0.0080$), FDN ($p \leq 0.0069$), FDA ($p \leq 0.0009$), CEL ($p \leq 0.0002$) y DIVMS ($p \leq 0.0010$) (tabla 2). En el caso de HEM y lignina se concluyó, con base en el análisis de varianza, que los valores entre muestreos fueron estadísticamente iguales.

Tabla 2

Cuadrados medios del análisis de varianza para variables relacionadas con la composición química y digestibilidad del forraje de maralfalfa cultivada en Durango, México

		PC	FDN	FDA	HEM	CEL	Lignina	DIVMS
¹ FV	gl							
Edad del rebrote	3	9.3	91.1	147.9	8.3	58.5	23.2	134.9
Error	20	1.8	16.9	18.0	4.8	5.2	8.9	16.7
² C.V. (%)		17.4	5.7	9.2	8.6	5.8	45.6	7.1
Probabilidad		0.0080	0.0069	0.0009	0.1919	0.0002	0.0796	0.0010

Nota: ¹FV= fuente de variación, gl= grados de libertad, PC= proteína cruda, FDN= fibra detergente neutra, FDA= fibra detergente ácida, HEM= hemicelulosa, CEL= celulosa, DIVMS= digestibilidad in vitro de la materia seca; ²C. V.= coeficiente de variación.

Se observó un incremento de 8.6% en el contenido de FDN entre el primer y cuarto muestreo. Para FDA la diferencia fue de 10.5% entre 73 y 114 DRR (tabla 3).

Elaboración propia.

Tabla 3
Composición y digestibilidad in vitro de la materia seca a cuatro edades de rebrote de maralfalfa cultivada en Durango, México

Edad del rebrote (Días)	¹ PC (%)	FDN (%)	FDA (%)	HE (%)	CE (%)	Lignina (%)	DIVMS (%)
273	9.1 ^a	67.7 ^b	41.2 ^c	26.6	36.6 ^b	4.6	60.7 ^a
86	8.3 ^{ab}	69.1 ^b	42.6 ^{bc}	26.5	37.0 ^b	5.1	59.8 ^a
100	7.0 ^{ab}	72.9 ^{ab}	48.5 ^{ab}	24.4	41.8 ^a	6.7	58.4 ^a
114	6.4 ^b	76.3 ^a	51.7 ^a	26.6	42.6 ^a	9.2	50.3 ^b

Nota: ¹PC= proteína cruda; FDN= fibra detergente neutra; FDA= fibra detergente ácida; HE= hemicelulosa; CE= celulosa; DIVMS= digestibilidad in vitro de la materia seca. ²Días después del riego de rebrote. Elaboración propia.

En el caso del contenido de CE en la materia seca se observó un incremento de 4.8 a 6% en los cortes realizados 100 y 114 DRR, en comparación con los dos primeros. La reducción en la digestibilidad verdadera in vitro de la materia seca obtenida a los 114 DRR osciló entre 10.4 a 8.1% en comparación con la DIVMS de los cortes realizados 73 a 100 DRR. Las variables VRF y CRF, relacionadas con la calidad de forraje, mostraron igualdad estadística entre fechas de cortes (tabla 4).

Tabla 4
Valor y calidad relativos del forraje obtenido en cuatro edades de rebrote de maralfalfa cultivada en Durango, México

Edad del rebrote (Días)	Valor Relativo del Forraje (%)	Calidad Relativa del Forraje (%)
¹ 73	76.7	81.0
86	75.8	82.6
100	67.3	81.3
114	54.4	72.2

Nota: ¹Días después del riego de rebrote (DRR). Elaboración propia.

Producción de gas in vitro

Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre muestreos para el parámetro 'a' (volumen teórico máximo de gas, ml); mientras que para 'b' (tasa constante producción de gas, h⁻¹) y 'c' (tasa constante de producción de gas del material potencialmente degradable, h^{-1/2}) registraron valores estadísticamente iguales entre edades de rebrote (tabla 5). Los valores del parámetro 'a' (tabla 6) se redujeron de forma significativa en cada fecha de corte y pasó desde 108.4 ml de gas g⁻¹ de MS (73 DRR) hasta 30.8 ml de gas g⁻¹ de MS (114 DRR).

Tabla 5
Cuadrados medios del análisis de varianza de la producción de gas in vitro del forraje obtenido en cuatro edades de rebrote de maralfalfa cultivada en Durango, México

Fuente de variación	¹ gl	A	B	C
Error	8	21.2	0.5	32.0
Edad del rebrote	3	3552.2	0.5	27.2
P		<0.0001	0.4	0.5
² C.V.		7.7	36.8	53.6

Nota: ¹gl= grados de libertad, a= volumen de gas correspondiente a la completa digestión del sustrato (asíntota), b= factor constante de eficiencia microbiana y c= tasa constante de producción de gas del material potencialmente degradable; ²C. V.= coeficiente de variación.

Elaboración propia.

En el caso del factor 'b' (tabla 6) se observó que los niveles se incrementaron paulatinamente y se registraron valores significativamente altos en los cortes realizados 100 DRR (2.18 h⁻¹) y 114 DRR (2.35 h⁻¹). Los valores para la tasa constante de producción de gas "c" del material potencialmente degradable resultaron estadísticamente iguales, con niveles entre 8.20 % h^{-1/2} (primer muestreo) y 14.92 % h^{-1/2} en el tercero.

Tabla 6

Parámetros obtenidos para la producción de gas in vitro del forraje obtenido en cuatro edades de rebrote de maralfalfa cultivada en Durango, México

Edad del rebrote (Días)	¹ a (ml gas/g MS)	e.e.m.	b (h ⁻¹)	e.e.m.	c (% h ⁻¹)	e.e.m.
73	107.4 ^a	3.36	1.44 ^a	0.23	8.20 ^a	0.34
86	61.4 ^b	0.61	1.65 ^a	0.04	10.22 ^a	0.36
100	38.8 ^c	0.30	2.18 ^a	0.77	14.92 ^a	6.11
114	30.8 ^c	4.07	2.35 ^a	0.22	8.93 ^a	2.23

Nota: ¹a= volumen de gas correspondiente a la completa digestión del sustrato, b= factor constante de eficiencia microbiana, c= tasa constante de producción de gas del material potencialmente degradable y e.e.m.= error estándar de la media. ²Días después del riego de rebrote. Elaboración propia.

Se observó que la producción de gas in vitro se redujo a medida que avanzó la edad de las plantas de maralfalfa, por ello, el parámetro 'a' en el corte realizado 73 DRR registró el valor más alto para la producción de gas (107.4 ml gas g⁻¹ MS) y disminuyó paulatinamente hasta llegar a 30.8 ml gas g⁻¹ MS en el corte realizado 114 DRR (figura 4). El parámetro 'b', relacionado con la eficiencia microbiana, registró variaciones entre 1.44 h⁻¹ (73 DRR) y 2.35 h⁻¹ (114 DRR).

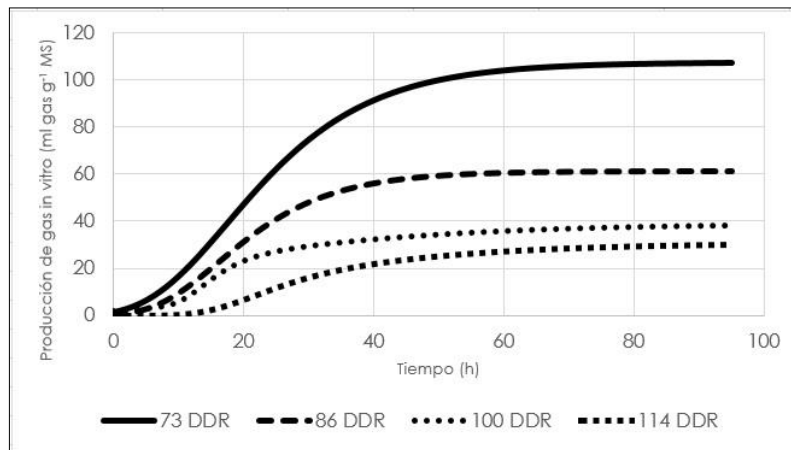


Figura 4. Producción de gas in vitro para diferentes tiempos de incubación del forraje obtenido a cuatro edades de rebrote de maralfalfa cultivada en Durango, México (DDRR= días después del riego de rebrote). Elaboración propia.

DISCUSIÓN

En el presente estudio el rendimiento promedio de materia seca es de 20.83 t ha^{-1} y la mayor cantidad de materia seca se obtuvo en el corte de los 100 días después del rebrote (39.0 t ha^{-1}). Lo anterior supera por 7.63 t ha^{-1} el rendimiento promedio reportado por Ventura-Ríos et al. (2019), quienes reportaron el mayor rendimiento de materia seca en el corte realizado a los 120 días (20.2 t ha^{-1}). En otro estudio realizado con pasto taiwán (*Pennisetum purpureum*) se reportó un rendimiento máximo de 15.4 t de materia seca ha^{-1} a los 120 días después del rebrote (Rengsirikul et al., 2013). A pesar de que la edad de las plantas tiene un efecto positivo considerable sobre el rendimiento materia seca (Ventura-Ríos et al., 2019), en el presente estudio se observó una producción de materia seca superior a la obtenida con plantas de mayor edad en los estudios antes mencionados.

La edad de la planta tiene una relación inversa con la calidad nutritiva del forraje (Uvidia, Ramírez, Vargas, Leonard, & Sucoshañay, 2015). Lo anterior concuerda con la disminución del porcentaje de PC observado en las plantas cosechadas a mayor edad en el presente estudio. En otros estudios se reportaron valores más bajos de PC (6.2% a 7.6%), cuando la planta alcanzó entre 60 y 90 días de edad (Citalán Cifuentes et al., 2012; Clavero & Razz, 2009; Ramírez & Pérez, 2006). Ventura-Ríos et al. (2019) reportan que la PC osciló entre 9.3 y 4.0% en plantas de 30 a 120 días de edad. La disminución de PC se debe a un incremento en la actividad metabólica (Chacón-Hernández & Vargas-Rodríguez, 2009) que promueve la acumulación de materia seca no nitrogenada, superando la capacidad de la planta para absorber nitrógeno (Ramírez-Ordóñez, Domínguez-Díaz, Salmerón-Zamora, Villalobos-Villalobos, & Ortega-Gutiérrez, 2013).

El incremento en FDN y FDA reduce el consumo y calidad del forraje, al mismo tiempo que aumenta el tiempo de masticación y costos de alimentación (Cortiana Tambara et al., 2017; Lee et al., 2017); además, disminuye la digestibilidad del forraje, lo cual afecta la calidad de maralfalfa para la alimentación del ganado. El contenido de FDN, FDA y CE aumentó en la medida en que avanzó la edad de las plantas de maralfalfa. Los reportes de distintos autores concuerdan con el aumento de FDN, FDA y CE (Ansah, Osafo, & Hansen, 2010; Cárdenas Ramírez et al., 2012; Clavero & Razz, 2009; Rengsirikul et al., 2013; Ventura-Ríos et al., 2019). Con base en lo anterior, se recomienda que el forraje obtenido con pasto maralfalfa se aproveche en etapas tempranas, con la finalidad de evitar niveles altos de FDN, FDA y CE debido al aumento en la proporción de tallos con respecto a la cantidad de hojas que se observa cuando avanza la madurez del forraje (Ramírez, Verdecia, & Leonard, 2008) y la acumulación de lignina (Lee et al., 2017).

En otro estudio se reportaron valores similares para la DIVMS de 62.5%, 55.8% y 52.1%, con intervalos entre corte de 21 días (Clavero & Razz, 2009). Por otro lado, Ventura-Ríos et al. (2019) reportan valores de DIVMS que oscilan entre 42.49 y 55.69% en plantas con 120 a 30 días de edad, respectivamente. En el presente estudio se observó la disminución de la DIVMS con el avance en edad de las plantas cosechadas, principalmente debido a la acumulación de FDN, FDA, CE, lignina y disminución de la proporción de hojas con respecto a los tallos (Ansah et al., 2010; Cárdenas-Ramírez et al., 2012; Clavero & Razz, 2009; Ramírez et al., 2008; Rengsirikul et al., 2013; Lee et al., 2017; Ventura-Ríos et al., 2019).

El pasto maralfalfa mostró valores estimados que permite considerarlo como un forraje de buena calidad nutritiva (Romero, Castillo, Burns, Davidson, & Moriel, 2014; Undersander, 2011). Estos resultados fueron inferiores a los que se reportaron en estudios realizados con variedades de sorgo dulce en Durango, en los que se obtuvieron niveles de 96.4 para VRF y 112.7 % para la CRF (Nava Berumen et al., 2017). Se observó sensibilidad baja del VRF y CRF para discriminar entre niveles diferentes de calidad del forraje, incluso de la misma especie.

La variación entre observaciones mostrado por el error estándar de la media fue mayor en el primer y último muestreo, debido principalmente a la modificación del nivel de acumulación de lignina en los tejidos. Este parámetro presentó sensibilidad en la discriminación del forraje, debido a

que separó el material tierno de calidad mayor en relación con el cortado en forma tardía. Los valores altos de producción de gas, registrados en el forraje tierno (73 DRRR) se relacionan positivamente con mayor generación de ácidos grasos volátiles totales (Moss, Jouany, & Newbold, 2000; Sánchez-Santillán & Cobos-Peralta, 2016), los cuales son benéficos para la nutrición animal (Álvarez, 2000; Williams, 2000). El incremento en los niveles del factor "b", se relacionó con la necesidad de contar con un tiempo mayor para alcanzar la diferencia máxima entre el gas inicial y el gas final (Naranjo et al., 2016).

La variación en las observaciones de los diferentes parámetros de producción de gas se relacionó con el contenido mayor de FDA (Robles Jiménez, Ruiz-Pérez, Morales-Osorio, Gutiérrez-Martínez, & González, 2017) y esto permite que haya fluctuaciones en la fermentación in vitro, por la predominancia de la CE sobre la HE; así como el incremento paulatino de lignina (tabla 3) en el forraje de maralfalfa. La reducción de la producción de gas in vitro se derivó principalmente de los cambios en la composición química del forraje (Aderinboye et al., 2016) obtenido con el pasto maralfalfa en las diferentes fechas de corte. Los resultados concuerdan con estudios anteriores en los que se demostró que la eficiencia microbiana se reduce cuando la planta se encuentra madura y se dificulta la degradación de sus componentes (Juárez Reyes et al., 2009; Ventura-Ríos et al., 2019). La tasa constante de producción de gas (parámetro 'c') se relacionó con el crecimiento de los microorganismos ruminales y la accesibilidad de las enzimas microbianas a los nutrientes del alimento (Getachew, Makkar, & Becker, 2000); por tanto, a los 100 días la tasa de producción de gas fue mayor que a los 73 días.

El tiempo de la fase Lag se incrementó a medida que se redujo la calidad del forraje y alcanzó 15 h en el caso del muestreo realizado 114 DDR, debido principalmente a la dificultad de acceso para las bacterias encargadas de la degradación del alimento (Dijkstra & Tamminga, 1995), lo que redujo la eficiencia en los procesos de fermentación (Naranjo et al., 2016).

CONCLUSIONES

La maralfalfa (*Pennisetum* sp.) representa una alternativa para la producción de cantidades altas de materia seca durante el ciclo primavera-verano, en Durango. El forraje de maralfalfa mostró calidad inferior en relación con otras especies de gramíneas utilizadas para la producción de forraje en Durango, especialmente cuando se cosechan plantas después de 100 días a partir del rebrote. Se observó que es conveniente aprovechar el forraje de maralfalfa entre los 73 y 86 días después del rebrote para mantener niveles competitivos de PC, FDN, FDA y DIVMS. Las variables relacionadas con la categorización nutritiva del forraje, el valor y la calidad relativa del forraje mostraron sensibilidad reducida para diferenciar edades de rebrote. La producción de gas mostró sensibilidad para diferenciar la calidad del forraje a través de las edades de rebrote. El presente estudio sirve como una caracterización básica de la productividad y calidad del forraje obtenido con pasto maralfalfa cultivado en Durango. Se considera necesario continuar con estudios sucesivos; sin embargo, se requiere la inclusión de otras variables que permitan un entendimiento más completo de la productividad de esta especie y a partir de ahí generar recomendaciones más precisas para su cultivo y aprovechamiento en Durango.

REFERENCIAS

- Aderinboye, R. Y., Akinlolu, A. O., Adeleke, M. A., Najeem, G. O., Ojo, V. O. A., Isah, O. A., & Babayemi, O. J. (2016). *In vitro* gas production and dry matter degradation of four browse leaves using cattle, sheep, and goat inocula. *Slovak Journal of Animal Sciences*, 49(1), 32-43. Recuperado de http://www.cvzv.sk/slju/16_1/5_Aderinboye.pdf

- Álvarez, D. M. (2000). *Evaluación in vitro de leguminosas tropicales como fuente de proteína para rumiantes* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- ANKOM. (2005). *Acid detergent fiber in feeds filter bag technique (ANKOM²⁰⁰⁰)*. Macedon, US: Ankom Technology Method. Recuperado de http://www.sscs.com.tw/Ankom/PDF_file/ADF%20Method%20A2000.pdf
- _____ (2011). *In vitro true digestibility using DAISY^{II} incubator* [Documento en pdf]. Macedon, US: Ankom Technology. Recuperado de http://www.sscs.com.tw/Ankom/PDF_file/Daisy%20method.pdf
- _____ (2012). *ANKOM^{RF} Gas Production System. Operator's manual* [Documento en pdf]. Macedon, US: Ankom Technology. Recuperado de https://www.ankom.com/sites/default/files/document-files/RF_Manual_0.pdf
- 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. doi: 10.5251/ABJNA.2010.1.5.923.929
- AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis* (15^a. ed.). Washington DC, US: Association of Official Analytical Chemists.
- 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. Recuperado de https://www.dgip.unach.mx/images/pdf-REVISTA-QUEHACERCIENTIFICO/QUEHACER-CIENTIFICO-2012-ener-jun/produccion_y_calidad_del_pasto_maralfalfa.pdf
- Chacón-Hernández, P. A., & Vargas-Rodríguez, C. F. (2009). Digestibilidad y calidad del *Pennisetum purpureum* cv. king grass a tres edades de rebrote. *Agronomía Mesoamericana*, 20(2), 399-408. doi: 10.15517/am.v20i2.4956
- Citalán Cifuentes, L., Domínguez Coutiño, B., Orantes Zebadúa, M. A., Manzur Cruz, A., Sánchez Muñoz, B., Santos Lara, M. C.,... Córdoba Avalos, V. (2012). Evaluación nutricional de maralfalfa (*Pennisetum* spp.) en las diferentes etapas de crecimiento en el rancho San Daniel, municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas. *Quehacer Científico en Chiapas*. 1(13), 19-23. Recuperado de https://www.dgip.unach.mx/images/pdf-REVISTA-QUEHACERCIENTIFICO/QUEHACER-CIENTIFICO-2012-ener-jun/evaluacion_nutricional_de_maralfalfa.pdf
- Clavero, T., & Razz, R. (2009). Valor nutritivo del pasto maralfalfa (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum glaucum*) en condiciones de defoliación. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 26(1), 78-87. Recuperado de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182009000100005&lng=es&nrm=iso
- Cortiana Tambara, A. A., Regiani Sippert, M., Cardoso Jauris, G., Carvalho Flores, J. L., Luis Henz, E., & Pedro Velho, J. (2017). Production and chemical composition of grasses and legumes cultivated in pure form, mixed or in consortium. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 39(3), 235-241. doi: 10.4025/actascianimsci.v39i3.34661
- Dijkstra, J., & Tamminga, S. (1995). Simulation of the effects of diet on the contribution of rumen protozoa to degradation of fibre in the rumen. *British Journal of Nutrition*, 74(5), 617-634. doi: 10.1079/bjn19950166
- García, E. (1987). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (4^a. ed.). D. F., México: Instituto de Geografía-UNAM. Recuperado de <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251-1>
- Getachew, G., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (2000). Effect of polyethelene glycol on in vitro degradability of nitrogen and microbial protein synthesis from tannin-rich browse and herbaceous legumes. *British Journal of Nutrition*, 84(1), 73-83. doi: <https://doi.org/10.1017/S0007114500001252>
- Giraldo, L. A., Gutierrez, L. A., & Rúa, C. (2007). Comparación de dos técnicas *in vitro* e *in situ* para estimar la digestibilidad verdadera en varios forrajes tropicales. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20, 269-279. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v20n3/v20n3a05.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). *Anuario estadístico y geográfico de Durango 2014*. México: INEGI.

- Jiménez, O. R., Domínguez, M. P. A., Rosales, S. R., Nava, B. C. A., & Carrete, C. F. O. (2014). Rendimiento y calidad del forraje de maralfalfa. *1er. Congreso Internacional de Investigación Agropecuaria y Forestal* (pp. 188-195). Estado de México, México.
- 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. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/613/61312109004.pdf>
- Lavrenčić, A., Stefanon, B., & Susmel, P. (1997). An evaluation of the Gompertz model in degradability studies of forage chemical components. *Animal Science*, 64(3), 423-431. doi: 10.1017/S1357729800016027
- Lee, C. N., Fukumoto, G. K., Thorne, M. S., Stevenson, M. H., Kim, Y. S., Nakahata, M., & Ogoshi, R. M. (2017). Nutrient compositions of sugarcane forages were influenced by season and the time of harvest. *Journal of Dairy & Veterinary Sciences*, 2(1), 1-6. doi: 10.19080/JDVS.2017.02.555579
- Medina García, G., Díaz Padilla, G., López Hernández, J., Ruiz Corral, J. A., & Marín Silva, M. (2006). *Estadísticas climatológicas básicas del Estado de Durango (periodo 1961-2003)*. Durango, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Recuperado de <https://1library.co/document/z1lgreeq-estadisticas-climatologicas-basicas-del-estado-de-durango-periodo.html>
- Moore, J. E., & Undersander, D. J. (2002). Relative forage quality: An alternative to relative feed value and quality index. En *13th Florida Ruminant Nutrition Symposium*. Llevado a cabo por la University of Florida, Gainesville, 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: 10.1051/animres:2000119
- Murillo, M., Herrera, E., Carrete, F. O., Ruiz, O., & Serrato, J. S. (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 Sciences*, 25(10), 1395-1403. doi: 10.5713/ajas.2012.12281
- Naranjo, J. F., Ceballos, O. A., Gaviria, X., Tarazona, A. M., Correa, G. A., Chará, J. D.,... Barahona, R. (2016). Estudio de la cinética fermentativa *in vitro* de mezclas de forrajes que incluyen *Leucaena leucocephala* proveniente de sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) en Colombia. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 11(2), 6-17. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/cmzv/v11n2/v11n2a02.pdf>
- Nava Berumen, C. A., Rosales Serna, R., Jiménez Ocampo, R., Carrete Carreón, F. O., Domínguez Martínez, P. A., & Murillo Ortiz, M. (2017). Rendimiento y valor nutricional de tres variedades de sorgo dulce cultivadas en cuatro ambientes de Durango. *Revista Mexicana de las Ciencias Pecuarias*, 8(2), 147-155. doi: 10.22319/rmcp.v8i2.4426
- Ortiz Robledo, F., Reyes Estrada, O., Herrera Corral, J., Rosales Serna, R., & Jiménez Ocampo, R. (2016). Rendimiento y calidad nutricional del forraje de maralfalfa obtenido en diferentes fechas de corte en Durango, México. *AGROFAZ*, 16(1), 47-56. Recuperado de <https://docplayer.es/69926875-Rendimiento-y-calidad-nutricional-del-forraje-de-maralfalfa-obtenido-en-diferentes-fechas-de-corte-en-durango-mexico.html>
- Ortiz Robledo, F., Reyes Estrada, O., Carrete Carreón, F. O., Sánchez Arroyo, J. F., Herrera Torres, E., Murillo Ortiz, M., & Rosales Serna, R. (2017). Nutritional and fermentative quality of maralfalfa (*Pennisetum* sp.) silages at different cutting ages and ground corn levels. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 49(2), 345-353. Recuperado de https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/9700/20172-cp24-reyes.pdf
- Ramírez, Y., & Pérez, J. (2006). Efecto de la edad de corte sobre el rendimiento y composición química del pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp.). *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*, 24, 57-62. Recuperado de <http://revistas.unellez.edu.ve/index.php/ruct/article/view/95/90>
- 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 Fitotecnica Mexicana*, 36(4), 395-403. doi: 10.35196/rfm.2013.4.395

- Ramírez, J. L., Verdecia, D., & Leonard, I. (2008). Rendimiento y caracterización química del Pennisetum Cuba CT 169 en un suelo pluvisol. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 9(5). Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/636/63611397007.pdf>
- Rengsirikul, K., Ishii, Y., Kangvansaichol, K., Sripichitt, P., Punsuvon, V., Vaithanomsat, P.,... & Tudsri, S. (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: 10.4236/jsbs.2013.32015
- Robles Jiménez, L. E., Ruiz-Pérez, J. A., Morales-Osorio, A., Gutiérrez-Martínez, M. G., & González R., M. (2017). Producción de forraje, composición química y producción de gas in vitro de maíces híbridos amarillos cultivados en México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 20(3), 373-379. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/939/93953814007.pdf>
- Romero, J. J., Castillo, M., Burns, J. C., Davidson, S., & Moriel, P. (2014). *Forage quality: Concepts and practices* [Documento en portal electrónico]. NC, US: NC State Extension Publications. Recuperado de <https://content.ces.ncsu.edu/forage-quality-concepts-and-practices>
- 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(5), 565-574. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v50n5/1405-3195-agro-50-05-565.pdf>
- Undersander, D. J. (2011). *Alfalfa management guide* (59 pp.). US: American Society of Agronomy. Recuperado de <https://books.google.com.mx/books?id=x34-YgEACAAJ&dq=editions:ISBN0891181792&hl=es>
- Uvidia, H., Ramírez, J., Vargas, J., Leonard, I., & Sucoshañay, J. (2015). Rendimiento y calidad del *Pennisetum purpureum* vc Maralfalfa en la Amazonía ecuatoriana. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 16(6), 1-11. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/636/63641399006.pdf>
- Vargas-Bayona, J., Mejía-Porras, G., Bedoya-Mashuth, J., & Gómez Patiño, J. F. (2013). Estimación de la técnica in vitro de gases frente a otras técnicas de digestibilidad. *Spei Domus*, 9(18), 59-70. doi: 10.16925/sp.v9i18.547
- Ventura-Ríos, J., Reyes-Vazquez, I., García-Salas, A., Muñoz-García, C., Muro-Reyes, A., Maldonado-Peralta, M. A., ... 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, 1-11. doi: 10.15174/au.2019.2204
- Williams, B. A. (2000). Cumulative gas-production techniques for forage evaluation. En D. I. Givens, E. Owen, R. F. E. Axford, & H. M. Omed (Eds.), *Forage evaluation in ruminant nutrition* (pp. 198-213). Wallingford, UK: CABI Publishing Wallingford.



Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Usted es libre de Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciente no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciente.

NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.

CompartirIgual — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.