

Elongación de lámina foliar, rendimiento y calidad de forraje de nueve zacates en temporal

Leaf blade elongation, yield and forage quality in nine grasses under rainfed conditions

Leodan Tadeo Rodríguez-Ortega¹ , Efraín Jehú Hernández-Reséndiz² , Patricia Landa-Salgado³ , Mauricio Velázquez-Martínez⁴ , Filogonio Jesús Hernández-Guzmán^{3*} , José Orlando Ramayo-Ramírez³ 

¹Universidad Politécnica Francisco I. Madero. Domicilio Conocido SN, San Juan Tepa, CP. 42660, Tepatepec, Francisco I. Madero, Hidalgo, México.

²Escuela Preparatoria No 2. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Francisco Mendoza s/n, Col. Plan de Ayala, CP. 43670. Tulancingo de Bravo, Hidalgo. México.

³Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo. Carr. Federal México-Texcoco Km 38.5. Col. El Cooperativo. CP. 56230, Texcoco, Estado de México, México.

⁴Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental San Luis. Carretera San Luis Potosí - Matehuala, Km. 14.5, Palma de la Cruz, 78432, San Luis Potosí.

*Autor de correspondencia: fjesushg@hotmail.com

Artículo científico

Recibido: 13 de marzo 2024

Aceptado: 21 de noviembre 2024

RESUMEN. Ante el cambio climático, lluvias erráticas y distribuidas de manera heterogénea, los pastizales naturales recobran importancia por requerir menor precipitación para producción forrajera. El objetivo del estudio fue evaluar en condiciones de temporal nueve zacates de origen mexicano para rendimiento forrajero y calidad. El estudio inició en marzo y terminó en septiembre de 2023 en Tulancingo, Hidalgo. Los zacates evaluados fueron *Bouteloua repens*, *Disakisperma dubium*, *Bouteloua curtipendula*, *Bouteloua gracilis*, *Pappophorum vaginatum*, *Panicum virgatum*, *Tripsacum dactyloides*, *Sporobolus airoides* y *Pappophorum bicolor*. Se evaluó elongación de lámina foliar (ELF), rendimiento en base seca, proteína cruda (PC), materia orgánica y digestibilidad *in vitro* a 48 h. Se usó un diseño en bloques completamente al azar y prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). La ELF fue diferente ($P < 0.05$) entre especies, donde *P. bicolor*, *T. dactyloides* y *S. airoides* destacaron por valores mayores y láminas más largas. El rendimiento forrajero mayor se observó en *B. curtipendula* ($P < 0.05$, 5 400 kg ha⁻¹), seguido de *P. virgatum* y *T. dactyloides* (3 907 y 3 672 kg ha⁻¹, respectivamente). El contenido de PC mayor ($P < 0.05$) se observó en *T. dactyloides* (7.48%) y *B. repens* (7.43%). La digestibilidad mayor se observó en *P. virgatum* y *B. repens* con 64.61 y 48.24%, respectivamente. Los zacates *B. curtipendula*, *T. dactyloides*, *P. bicolor* y *P. virgatum* pueden ser opciones destacadas por aprovechamiento forrajero ante escasa lluvia en suelos donde la agricultura es riesgosa.

Palabras clave: *Tripsacum dactyloides*, *Pappophorum bicolor*, recuperación de áreas de pastizal.

ABSTRACT. In the face of climate change, erratic and heterogeneously distributed rainfall, natural grasslands regain importance as they require less precipitation for forage production. The objective of the study was to evaluate nine Mexican grasses under rainfed conditions for forage yield and quality. The study began in March and ended in September 2023 in Tulancingo, Hidalgo. The grasses evaluated were *Bouteloua repens*, *Disakisperma dubium*, *Bouteloua curtipendula*, *Bouteloua gracilis*, *Pappophorum vaginatum*, *Panicum virgatum*, *Tripsacum dactyloides*, *Sporobolus airoides* and *Pappophorum bicolor*. Leaf blade elongation (LBE), yield forage, crude protein (CP), organic matter and *in vitro* digestibility at 48 h were evaluated. Completely randomized block design and Tukey test ($\alpha = 0.05$) were used. The LBE was different ($P < 0.05$), where *P. bicolor*, *T. dactyloides* and *S. airoides* stood out for higher values and longer blades. The highest forage yield was observed in *B. curtipendula* ($P < 0.05$; 5 400 kg ha⁻¹), followed by *P. vaginatum* and *T. dactyloides* (3 907 and 3 672 kg ha⁻¹, respectively). The highest CP content ($P < 0.05$) was observed in *T. dactyloides* (7.48%) and *B. repens* (7.43%). The highest digestibility was observed in *P. virgatum* and *B. repens* with 64.61 and 48.24%, respectively. The grasses *B. curtipendula*, *T. dactyloides*, *P. bicolor* and *P. virgatum* can be outstanding options for forage use in the face of low rainfall in soils where agriculture is risky.

Keywords: *Tripsacum dactyloides*, *Pappophorum bicolor*, reclamation lands.

Como citar: Rodríguez-Ortega LT, Hernández-Reséndiz EJ, Landa-Salgado P, Velázquez-Martínez M, Hernández-Guzmán FJ, Ramayo-Ramírez JO (2024) Tasa de recambio de tejido, producción y calidad de forraje en nueve zacates en temporal. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios Núm. Esp. IV: e4062. DOI: 10.19136/era.a11nIV.4062.

INTRODUCCIÓN

México tiene 83% de la superficie enclavada en zonas semiáridas (Quero-Carrillo *et al.* 2014) donde la escasa precipitación condiciona la producción forrajera, la cual depende de las lluvias veraniegas. En dicha zona, los recursos forrajeros no son aprovechados de manera sistemática y ordenada, ocasionándose sobrepastoreo que, desde la década de 1950, ha disminuido la producción forrajera (Jurado-Guerra *et al.* 2021). Por tanto, el conocimiento de las especies gramíneas forrajeras nativas mexicanas es importante para estudiar la producción forraje en temporal y su calidad ante la escasa precipitación, y de esta manera, organizar el pastoreo y recuperar tierras de pastizal (Quero-Carrillo *et al.* 2014, Gómez-Guzmán *et al.* 2023). México es el centro de origen de varias especies forrajeras de los géneros *Bouteloua*, *Tripsacum*, *Disakisperma*, y de especies como *Sporobolus airoides*, *Panicum virgatum* y *Pappophorum bicolor* (Quero 2023). La evaluación de la producción forrajera en un predio ganadero permitirá conocer la productividad de las especies de gramíneas y de este modo, la calendarización de las actividades como pastoreo y cosecha de semillas (Álvarez-Vázquez *et al.* 2022). En un estudio realizado por Velázquez-Martínez *et al.* (2022) en el Valle del Mezquital con zacate buffel, navajita y rhodes a 50, 80 y 110 días después de rebrote (ddr), reportaron mayor rendimiento a 110 ddr en zacate rhodes con 12 936 kg ha⁻¹ de materia seca (MS) y contenido mayor de proteína a 50 ddr en zacate buffel con 10.6%. En el estudio anterior, el zacate navajita (*B. gracilis*) produjo 3 012, 3 999 y 4 712 kg ha⁻¹ de MS, contenidos de PC de 8.03, 7.85 y 7.09% y digestibilidad: 56.6, 52.9 y 52.6%, a 50, 80 y 110 ddr, respectivamente. Los rendimientos de materia seca en Ahuehuetitla en condiciones de riego por goteo al establecimiento (primer año), Rodríguez-Ortega *et al.* (2021) en *P. virgatum*, *T. dactyloides* y *S. airoides* en la suma de los dos cortes obtuvieron 3 854, 1 159 y 1 821 kg ha⁻¹, respectivamente. Así mismo Álvarez-Vázquez *et al.* (2022) en zacate banderita Herguz, navajita, gigante, engordador y *P. vaginatum* reportaron 1 585, 457, 5 094, 3 619 y 630 kg ha⁻¹, respectivamente.

De la producción de materia seca, un componente importante es la cantidad de hoja, la cual es influenciada por la capacidad de elongación de las láminas foliares. En zacates se define como el crecimiento diario (cm) de una lámina foliar (Martínez *et al.* 2021), que permite conocer la capacidad forrajera de un zacate ante cierta cantidad de lluvia, lo cual, permite saber que especie aprovecha de manera más eficiente las lluvias esporádicas en los meses con altas temperaturas (Da-Silva *et al.* 2015). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar en condiciones de temporal la tasa de recambio de tejido, rendimiento de forraje, contenido de proteína cruda, materia orgánica y digestibilidad de nueve zacates nativos mexicanos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Campo Experimental del Grupo El Quebracho de Ahuehuetitla S.P.R. de R.L. en el Ejido Ahuehuetitla, Tulancingo de Bravo, Hidalgo, de marzo a noviembre 2023. En el lugar de estudio, la temperatura y precipitación (Figura 1) fueron obtenidas con una estación meteorológica inalámbrica profesional de marca Uzoli (China).

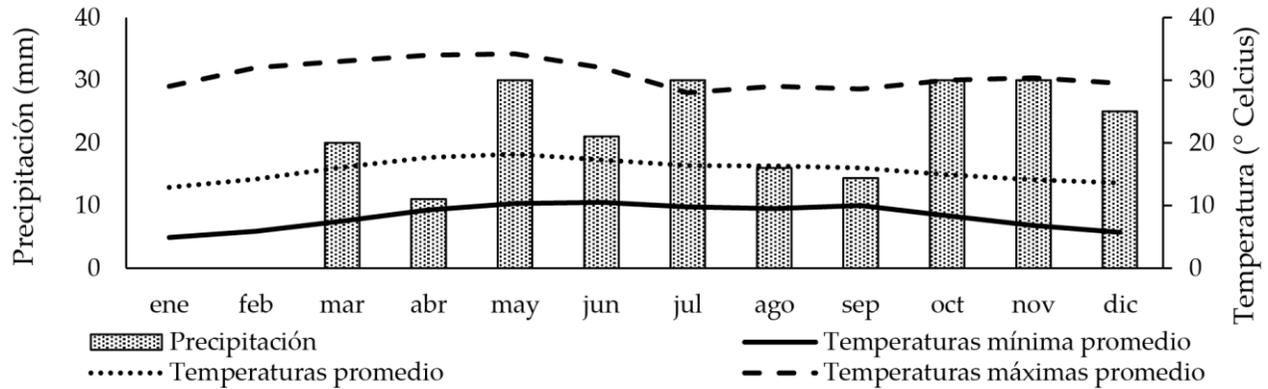


Figura 1. Condiciones de temperatura y precipitación registradas en el año 2023 en Ahuehuetitla, Tulancingo de Bravo, Hidalgo.

El zacate engordador [*Bouteloua repens* (Kunth) Scribn. & Merr.], gigante [*Disakisperma dubium* (Kunth)], banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.], navajita [*Bouteloua gracilis* (H.B.K.) Lag. ex Steud.], *Pappophorum vaginatum* (Schreber.), switchgrass (*Panicum virgatum* L.) zacate maicero [*Tripsacum dactyloides* (L.)], zacatón alcalino [*Sporobolus airoides* (Torr.) Torr.] y *Pappophorum bicolor* (Schreber.) fueron reportados por Rodríguez-Ortega *et al.* (2021) y Álvarez-Vázquez *et al.* (2023). El establecimiento, se realizó en Ahuehuetitla, Tulancingo, Hidalgo, México, en marzo de 2020 con riego por goteo. Así mismo, en el mismo sitio experimental en 2020 y en las mismas condiciones de suelo y riego, fue establecido el zacate *Pappophorum bicolor* con semillas colectadas en 2019 de la comunidad de El Huizache, municipio de Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México, en las coordenadas 22° 13' 38.92'' LN y 100° 50' 29.51'' LO a altitud de 1 835 m.

Los tratamientos fueron las especies de zacate, las cuales se establecieron en 2020 en bloques completamente al azar con tres repeticiones y parcelas experimentales de 12 m². La cantidad de plantas promedio que rebrotaron por parcela experimental por especie de zacate posterior a 20 mm de lluvia (13 y 14 de marzo de 2023) fue 84, 70, 85, 80, 70, 10, 10, 10 y 12 plantas para zacate engordador, gigante, banderita, navajita, switchgrass, zacate maicero, zacatón alcalino y barbón bicolor, respectivamente. El grosor de corona fue tomado a partir del diámetro de 10 plantas representativas de cada parcela (cm) a 20 días después de las lluvias (ddll).

VARIABLES DE ESTUDIO

Elongación de lámina foliar.

En cada unidad experimental, se eligió a dos plantas de cada especie (seis en total) a 20 días después de las lluvias (13 y 14 de marzo); la planta fue marcada con listón rojo y la hoja elegida se marcó con listón blanco (#4). La longitud acumulada de la lámina foliar (mm) se realizó cada 48 h hasta que la lígula fue observada. Las mediciones fueron a 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36 y 38 ddll. Se presenta la elongación neta en cada tiempo. Para determinar la curva a la cual se ajustaban los datos, se usó el programa Excel y Curve Expert 1.4 y éste último ajustó a una ecuación de regresión lineal de acuerdo con la metodología de Martínez *et al.* (2021).

$$\text{Elongación neta acumulada} = d_2 - d_1 + \sum(d_{2i} - d_{1i})$$

Donde: d_2 : medición del tiempo posterior; d_1 : medición del tiempo anterior, y $\sum(d_2i-d_1i)$: la sumatoria de la elongación neta del intervalo de cada i -ésimo tiempo (días).

Rendimiento de forraje

Los tres cortes en los nueve zacates se realizaron 55 días después de la precipitación del 14 de marzo, 11 de mayo y 15 de julio de 2023 posterior a una precipitación de 20 mm. El corte de forraje se realizó en las tres unidades experimentales de cada bloque y fue a 5 cm sobre la altura del suelo. Las muestras de forraje fueron colocadas en bolsas de papel previamente rotuladas, y dispuestas en ambiente de invernadero con flujo de aire durante 15 días. Posteriormente, se llevaron a estufa de aire forzado Marca Ciderta (Huelva, España) a 55 °C durante 12 horas e inmediatamente se pesó en una báscula marca Hanchen modelo BSM220.4 (Pekin, 0.0001 g). Las muestras de forraje de los nueve zacates se enviaron al laboratorio el 9 de septiembre del 2023 para su análisis químico.

Grosor de corona

Las 10 plantas marcadas fueron representativas de cada parcela experimental a 19 días después de la lluvia del 13 y 14 de marzo, de modo que tuvieran similar diámetro.

Calidad de forraje

Para determinar la calidad del zacate se pesaron 500 g de cada especie y colocó en bolsas de papel dentro de bolsas de polietileno previamente rotuladas. Para análisis químico, las muestras secas fueron molidas con ayuda de molino Wiley con malla de 1 mm. Se determinó por duplicado cenizas, materia orgánica, proteína cruda (PC, %), esta última obteniéndose al multiplicar el nitrógeno total de cada especie de zacate por 6.25 (AOAC 2005). Se determinó también fibra detergente ácido (FDA, %) y fibra detergente neutro (FDN, %) utilizando el método de Van-Soest *et al.* (1991), y digestibilidad *in vitro* de la MS a 48 horas por el método de Tilley y Terry (1963) en el laboratorio de nutrición animal del Colegio de Postgraduados.

Diseño experimental

El diseño utilizado para la tasa de recambio de tejido y evaluación de nutrientes fue completamente al azar, mientras que para el diámetro de corona y rendimiento de forraje fue en bloques completamente al azar con tres repeticiones. Se realizó análisis de varianza con el procedimiento GLM de SAS (2001) y las medias se agruparon mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

RESULTADOS

Elongación de lámina foliar

Se observó diferencia en la elongación de lámina foliares de nueve zacates en condiciones de temporal en Tulancingo, Hidalgo ($P < 0.001$, Figura 2). Las láminas foliares de zacate barbón bicolor elongaron con valores mayores en cada fecha ($P < 0.05$), mientras zacate maicero fue diferente hasta 36 ddll y en la última fecha fue similar a zacatón alcalino, mientras que en zacate banderita, *P. vaginatum*, navajita, engordador y gigante la lígula apareció en menos tiempo.

Las curvas de crecimiento de las hojas se ajustaron a un modelo lineal y mostraron R^2 entre 89.7 y 96.8 (Tabla 1). El crecimiento en general fue lento en los primeros días (hasta 24 ddll), después, en

barbón bicolor, zacate maicero y zacatón alcalino la elongación entre 26 y 34 ddll fue rápida. Sin embargo, en los zacates de porte bajo como navajita, engordador, *P. vaginatum*, gigante y banderita ya no crecieron desde 30 ddll dado que mostraron la lígula. Los zacates de porte alto coincidieron con mayor diámetro de corona ($P < 0.05$; Tabla 2). La temperatura en Tulancingo, Hidalgo, fueron idóneas para elongación de láminas foliares de los zacates estudiados (Figura 1), ya que la temperatura media fue mayor a 10 °C.

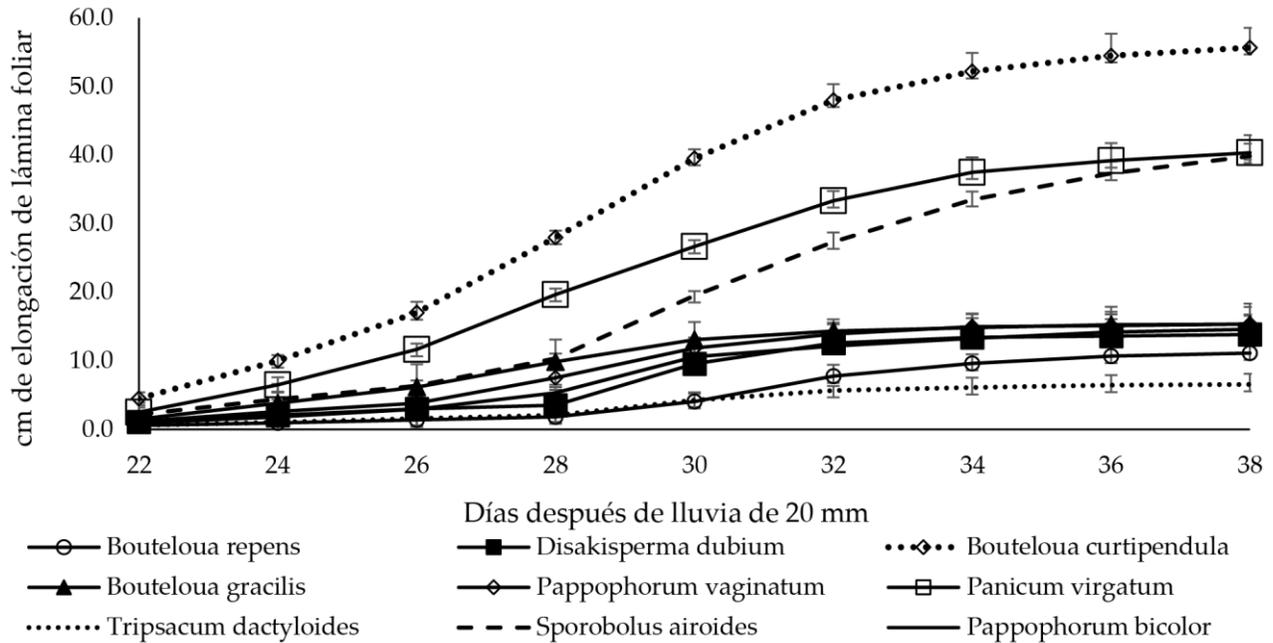


Figura 2. Elongación neta acumulada (cm) de láminas foliares de nueve zacates en condiciones de temporal, en Tulancingo de Bravo, Hidalgo. Las barras de cada fecha corresponden a desviación estándar.

Tabla 1. Ecuaciones lineales del crecimiento de la hoja 4 y R^2 en nueve zacates mexicanos en temporal en Ahuehuetitla, Tulancingo, Hidalgo.

Especie de zacate	Ecuación	R^2
<i>Bouteloua repens</i>	$y = 1.5644x - 2.4963$	92.9%
<i>Disakisperma dubium</i>	$y = 1.9236x - 1.5477$	90.3%
<i>Bouteloua curtipendula</i>	$y = 2.0489x - 0.663$	92.1%
<i>Bouteloua gracilis</i>	$y = 0.8767x - 0.5741$	93.8%
<i>Pappophorum vaginatum</i>	$y = 1.9861x - 1.5139$	93.7%
<i>Panicum virgatum</i>	$y = 1.8569x - 1.1782$	89.7%
<i>Tripsacum dactyloides</i>	$y = 5.2444x - 2.0741$	96.0%
<i>Sporobolus airoides</i>	$y = 5.3458x - 6.6458$	96.8%
<i>Pappophorum bicolor</i>	$y = 7.1417x - 1.338$	95.0%

Tabla 2. Rendimiento forrajero en base seca y grosor de corona de nueve zacates mexicanos en 2023 en Ahuehuetitla, Tulancingo, Hidalgo.

Especie de pasto	Rendimiento de forraje (kg ha ⁻¹)				Diámetro de corona (cm)
	Marzo	Mayo	Julio	Suma	
<i>Bouteloua repens</i>	491 ^{bc}	743 ^{de}	1 341 ^c	2 574 ^{ef}	14.9 ^{cd}
<i>Leptochloa dubia</i>	542 ^b	1 015 ^{bc}	2 015 ^b	3 572 ^{bcd}	12.7 ^d
<i>Pappophorum bicolor</i>	377 ^c	843 ^{cde}	1 949 ^b	3 169 ^{cde}	17.2 ^c
<i>Panicum virgatum</i>	196 ^d	696 ^e	1 524 ^c	2 417 ^f	15.1 ^{cd}
<i>Bouteloua curtipendula</i>	1 195 ^a	1 754 ^a	2 451 ^a	5 400 ^a	15.9 ^{cd}
<i>Tripsacum dactyloides</i>	488 ^{bc}	1 055 ^{bc}	2 129 ^{ab}	3 672 ^{bc}	44.6 ^a
<i>Bouteloua gracilis</i>	476 ^{bc}	972 ^{bcd}	1 511 ^c	2 960 ^{def}	31.1 ^b
<i>Sporobolus airoides</i>	209 ^d	285 ^f	466 ^d	961 ^g	27.7 ^b
<i>Pappophorum vaginatum</i>	627 ^b	1 218 ^b	2 061 ^{ab}	3 907 ^b	15.5 ^{cd}
DMSH	154	247	419	614	3.64

Letras iguales dentro de misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$). DMSH: Diferencia mínima significativa honesta ($\alpha = 0.05$).

Rendimiento de forraje y grosor de corona

En el rendimiento de forraje de los zacates fue diferente en cada fecha ($P < 0.001$, Tabla 2). El zacate banderita tuvo el valor mayor en cada fecha y en suma ($P < 0.05$, 5 400 kg ha⁻¹), este superó en la suma a zacatón alcalino, navajita, engordador y switchgrass en 5.62, 2.23, 2.1 y 1.47 veces, respectivamente. En marzo y abril los valores menores fueron en switchgrass y zacatón alcalino ($P < 0.05$), mientras en la fecha última se observó en zacatón alcalino, engordador, navajita y switchgrass ($P < 0.05$). El rendimiento forrajero en mayo y julio se observó que *P. vaginatum* y *T. dactyloides* mostraron valores similares ($P > 0.05$). En cuanto al diámetro de corona se observó diferencia ($P < 0.001$) entre especies. El zacate switchgrass mostró el diámetro mayor ($P < 0.05$) y superó a zacate gigante, engordador, navajita y a *P. vaginatum* en 3.51, 2.99, 2.95 y 2.81, respectivamente ($P < 0.05$).

Calidad de forraje

El contenido de cenizas, proteína cruda, materia orgánica y digestibilidad en nueve zacates establecidos en Tulancingo, Hidalgo, fue diferente ($P < 0.001$, Tabla 3). En cenizas se observó que switchgrass fue el zacate con valor mayor ($P < 0.001$) y superó a barbón bicolor (de menor valor) en 2.5 veces, así como a zacatón alcalino y *P. vaginatum* en 2.1 veces. El contenido mayor de proteína cruda mayor se observó en zacate engordador, zacate maicero y gigante ($P < 0.001$), mientras que los zacates con menor valor fueron navajita, *P. vaginatum*, zacatón alcalino y barbón bicolor. La materia orgánica fue diferente ($P < 0.05$) y se observó mayor valor en barbón bicolor, zacatón alcalino y *P. vaginatum* ($P < 0.05$); switchgrass fue menor en 1.05 veces con respecto a barbón bicolor ($P < 0.05$). La digestibilidad de nueve zacates mexicanos cultivados en el temporal de Tulancingo fue diferente ($P < 0.05$), el valor mayor y por tanto mejor, se observó en switchgrass (65%), y superó a gigante y engordador en 1.2 y 1.3 veces ($P > 0.05$). La digestibilidad *in vitro* de zacate maicero

(41.8%) superó a banderita en 1.05 veces ($P > 0.05$), mientras en navajita se observó el valor menor (25%).

Tabla 3. Contenido de cenizas, proteína y materia orgánica y digestibilidad *in vitro* a 48 h de forraje de nueve zacates cosechados en octubre de 2023.

Especie de zacate	Cenizas (%)	Proteína (%)	Materia orgánica (%)	Digestibilidad a 48 h (%)
<i>Bouteloua repens</i>	10.1 ^b	7.4 ^a	89.9 ^d	48.2 ^{abc}
<i>Disakisperma dubium</i>	7.2 ^d	6.0 ^{ab}	92.7 ^b	56.0 ^{ab}
<i>Pappophorum bicolor</i>	5.4 ^e	3.6 ^c	94.5 ^a	32.9 ^{de}
<i>Panicum virgatum</i>	13.5 ^a	5.8 ^b	86.5 ^e	64.6 ^a
<i>Bouteloua curtipendula</i>	10.4 ^b	4.7 ^{bc}	89.6 ^d	39.5 ^{cde}
<i>Tripsacum dactyloides</i>	8.6 ^c	7.4 ^a	91.3 ^c	41.8 ^{bcd}
<i>Bouteloua gracilis</i>	9.0 ^c	4.8 ^{bc}	91.0 ^c	25.3 ^e
<i>Sporobolus airoides</i>	6.3 ^{de}	4.9 ^{bc}	93.7 ^{ab}	34.0 ^{cde}
<i>Pappophorum vaginatum</i>	6.3 ^{de}	5.0 ^{bc}	93.7 ^{ab}	39.2 ^{cde}
EEM	0.19	0.24	0.19	2.94

Letras iguales dentro de misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$). EEM: Error estándar de la media.

DISCUSIÓN

Los zacates con menor elongación de lámina foliar neta medida cada 48 h fueron navajita y engordador ($P < 0.05$), mientras gigante, banderita y *P. vaginatum* fueron similares ($P > 0.05$), dado que son de porte bajo, como lo indican Flores y Morales (2023), Hernández-Guzmán *et al.* (2023) y Quero-Carrillo *et al.* (2023). Por tal motivo, la aparición de la lígula fue en menor tiempo. El rebrote de zacates se da por la cantidad de energía almacenada en forma de carbohidratos solubles del ciclo de lluvias inmediato anterior (Garay-Martínez *et al.* 2019, Rodríguez-Ortega *et al.* 2021, Álvarez-Vázquez *et al.* 2023), pero en switchgrass el vigor del crecimiento de la hoja #4 puede ser por el diámetro de corona. Al respecto, Rodríguez-Ortega *et al.* (2021) expusieron que en switchgrass, pasto maicero y zacatón alcalino, al final del primer año de establecimiento las coronas pueden medir 30, 21 y 17 cm, respectivamente. Por otro lado, las temperaturas en Tulancingo, Hidalgo fueron idóneas para elongación de lámina foliar, como lo indican Garay-Martínez *et al.* (2019) quienes mencionan que el zacate buffel rebrotó de manera satisfactoria entre 18-35 °C. El beneficio del establecimiento de zacates perennes es que aprovechan las lluvias esporádicas de los meses de febrero a mayo y rebrotan. Por ejemplo, para obtener forraje de maíz Godina *et al.* (2020) en condiciones de temporal en Jaumave, Tamaulipas, reportaron de 3 113 a 8 888 kg ha⁻¹ de MS con 473 mm, mientras que en este estudio fue de 5 400, 3 907 y 3 672 kg ha⁻¹ para banderita, *P. vaginatum* y pasto maicero, respectivamente. En el mismo sitio experimental en el primer año de establecimiento en banderita, gigante y engordador (Álvarez-Vázquez *et al.* 2022) reportaron 5 084, 3 619 y 1 585 kg ha⁻¹, respectivamente. Mientras que Rodríguez-Ortega *et al.* (2021) para switchgrass y pasto maicero reportaron 3 584 y 1 159 kg ha⁻¹, respectivamente. Por lo que ante los costos de

labores culturales e insumos para producción de maíz y cambio climático, debe considerarse la reconversión de agrícola a ganadero en suelos donde la agricultura es riesgosa. Cabe mencionar que las necesidades de lluvia para el cultivo de maíz son de 409 mm para producción de grano (Zamora-Salgado *et al.* 2011) mientras en el ciclo 2023 se registró precipitación acumulada hasta septiembre de 175 mm.

El contenido de proteína y degradación de los materiales forrajeros es importante, ya que de ello depende la multiplicación de los microorganismos del rumen y, posteriormente, en el intestino delgado, la absorción de proteína metabólica debido a que ésta (microbiota), representa la fuente mayor de nutrientes para el rumiante (Castillo-López y Domínguez-Ordóñez 2019). La proteína metabólica aporta entre 40 y 90% de los aminoácidos que se absorben en intestino delgado del rumiante (McDonald *et al.* 2010). El contenido de proteína de pasto navajita fue menor respecto a lo reportado por Velázquez-Martínez *et al.* (2022) a 110 ddr (4.8 vs. 7.09%) dado que ese estudio se realizó en condiciones de riego, y, por tanto, senescencia menor en comparación al presente estudio. Según Cruz *et al.* (2017) la proteína cruda en *Brachiaria humidicola* aumentó cuando el rebrote fue cada 21 días en comparación a cada 28 días en 1.4% debido a incremento de pared celular y sobre todo que a menor edad de rebrote, hay más proporción de hojas donde se encuentra la mayor proporción de nutrientes. Por lo anterior, Castro-Hernández *et al.* (2017), mencionan que el contenido de proteína en los forrajes es importante para el crecimiento poblacional de la microbiota y así degradar fibra para generación de los ácidos grasos volátiles (acético, propiónico y butírico). Mientras que Bernal-Flores *et al.* (2017) en hojas de pasto banderita, mencionan que la lignina está en la nervadura principal, vaina del haz, extensión de la vaina del haz, alrededor de los haces vasculares (xilema y floema) y células buliformes. Por lo anterior, los zacates estudiados nativos e introducidos (como buffel) de zonas semiáridas en México, aumenta la lignina a mayor edad de rebrote, como fue consignado por Velázquez-Martínez *et al.* (2022). La digestibilidad de los forrajes depende del contenido de FDN y FDA, ya que, a valores mayores, disminuye la digestibilidad (Cruz *et al.* 2017) por presentar mayor tejido lignificado (Bernal-Flores *et al.* 2017).

Dietas bajas en nitrógeno para rumiantes tienen menor concentración de microorganismos fibrolíticos (Madigan *et al.* 2015), a lo cual, Bernal-Flores *et al.* (2017) mencionan que en hojas de zacate banderita el mesófilo (28%), las células buliformes (23%) y la vaina del haz vascular (20%) ocuparon más del 70% del área foliar total, del mismo modo, las hojas de pasto banderita está compuesta por 58% de tejido altamente digestible, 33% de tejido parcialmente digestible y 9% de tejido no digestible. Al respecto, Echenique *et al.* (2008) mencionan que la epidermis, esclerénquima, parénquima y mesófilo constituyen los principales tejidos relacionados con la calidad forrajera en zacates C₄, como los nueve zacates estudiados en el presente trabajo. Lo anterior afecta la proporción de ácidos grasos volátiles que son la fuente de energía en un rumiante en pastoreo (Madigan *et al.* 2015, Vedovatto *et al.* 2020).

CONCLUSIONES

La mayor elongación neta en la hoja #4 ocurrió en *Pappophorum bicolor* y *Tripsacum dactyloides* y coincidió con mayor diámetro de corona dadas las condiciones de precipitación. El rendimiento

mayor de forraje ocurrió en *Bouteloua curtipendula* y *T. dactyloides* y menor cantidad *B. gracilis* y *Disakisperma dubium*. El contenido de proteína mayor se presentó en *T. dactyloides* y digestibilidad mayor en *Panicum virgatum*.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Sra. Catalina Guzmán Hernández, Sr. Cándido Guzmán Rosales y Sr. Juan F. Hernández Castro por facilitar los terrenos donde se llevó a cabo la investigación.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

- Álvarez-Vázquez P, Rojas-García AR, Joaquin-Cancino S, Velázquez-Martínez M, Rodríguez-Ortega LT, Hernández-Guzmán FJ (2022) Producción de forraje y semilla de ocho zacates al establecimiento en Tulancingo, Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 12(6): 1041-1053.
- AOAC (2005) *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 18th Ed., AOAC International. Gaithersburg, Maryland U.S.A. 26p.
- Bernal-Flores A, Quero-Carrillo AR, Zavaleta-Mancera HA, Pérez-Rodríguez P, Valdez-Carrasco J, Ortega-Cerrilla ME (2017) Atributos histológicos relacionados con digestibilidad en *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr. de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 40(3): 299-308. <https://doi.org/10.35196/rfm.2017.3.299-308>
- Castillo-López E, Domínguez-Ordóñez MG (2019) Factors affecting the ruminal microbial composition and methods to determine microbial protein yield. Review. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 10(1): 120-148. <http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v10i1.4547>
- Castro-Hernández H, Domínguez-Vara IA, Morales-Almaráza 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* 8(2): 201-210.
- Cruz HA, Hernández GA, Chay CAJ, Mendoza PSI, Ramírez VS, Rojas GAR, Ventura RJ (2017) Componentes del rendimiento y valor nutritivo de *Brachiaria humidicola* cv Chetumal a diferentes estrategias de pastoreo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8(3): 599-610.
- Da-Silva CS, Sbrissia FA, Pereira TEL (2015) Ecophysiology of C₄ forage grasses-understanding plant growth for optimizing their use and management. *Agriculture* 5(3): 598-625.
- Echenique V, Pessino S, Díaz M, Selva JP, Luciani G, Zappacosta D, Cervigni G, Meier M, Garbus I, Cardone S, Miranda R, Spangenberg G (2008) Aportes de la biotecnología al mejoramiento del zacate llorón (*Eragrostis curvula*). *Revista Argentina de Producción Animal* 28: 147-164.
- Flores AE, Morales NCR (2023) Pasto navajita (*Bouteloua gracilis* (H. B. K.) Lag. ex Steud.) In: Quero CAR, Flores AE (eds) Gramíneas nativas. Importancia e impacto en ecosistemas ganaderos. Libro técnico. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México. pp. 49-86.
- Garay-Martínez JR, Joaquín-Cancino S, Estrada-Drouaillet B, Martínez-González JC, Limas-Martínez AG, Hernández-Meléndez J, Rojas-García AR (2019) Producción y cambios morfológicos de *Pennisetum*

- ciliare* cv. H-17 en función de la edad de rebrote y altura de pradera. *Acta Universitaria* 29: e2306. <http://doi.org/10.15174.au.2019.2306>.
- Godina RJE, Garay MJR, Mendoza PSI, Joaquín CS, Rocandio RM (2020) Rendimiento de forraje y composición morfológica de maíces nativos en condiciones semiáridas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 24: 59-68. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2358>.
- Gómez-Guzmán G, Mendoza-Pedroza SI, Hernández-Guzmán FJ, Rodríguez-Ortega LT, Álvarez-Vázquez P, Zúñiga-Estrada EA (2023) Forage and vegetal characterization of three native mexican grasses in Tulancingo de Bravo, Hidalgo. *Agro Productividad* 16(12) suplemento: 75-80. <https://doi.org/10.32854/agrop.v16i12.2771>
- Hernández-Guzmán FJ, Hernández-Rodríguez M, Velázquez-Martínez M, Quero-Carrillo AR (2023) *Pappophorum* spp. (Schereber.) In: Quero CAR, Flores AE (eds.) Gramíneas nativas. Importancia e impacto en ecosistemas ganaderos. Libro técnico, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México. pp. 267-288.
- Jurado-Guerra P, Velázquez-Martínez M, Sánchez-Gutiérrez RA, Álvarez-Holguín A, Domínguez-Martínez PA, Gutiérrez-Luna R, Garza-Cedillo RD, Luna-Luna M, Chávez-Ruiz MG (2021) Los pastizales y matorrales de zonas áridas y semiáridas de México: Estatus actual, retos y perspectivas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 2(3): 261-285. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5875>.
- Madigan MT, Martinko JM, Bender KS, Buckley DH, Stahl DA (2015) Brock, biología de los microorganismos. 14ª edición. Pearson educación, S.A. C/ Ribera del Loira. Madrid, España. 1131p.
- Martínez MD, Enriquez QJF, Esqueda EVA, Ortega JE (2021) Recambio de tejido de hojas en *Brachiaria humidicola* CIAT 6133 con diferente manejo de la defoliación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11(24): 47-58. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2357>
- McDonald P, Edwards RA, Greenhalgh JFD, Morgan CA, Sinclair LA, Wilkinson RG (2010) Animal nutrition 7ª edition. Pearson. UK. 714p.
- Quero CAR (2023) A manera de prólogo. In: Quero CAR, Flores AE (eds) Gramíneas nativas. Importancia e impacto en ecosistemas ganaderos. Libro técnico, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. pp. 3-4.
- Quero-Carrillo AR, Miranda-Jiménez L, Hernández-Guzmán FJ, Rubio AFA (2014) Mejora del establecimiento de praderas. Folleto técnico. Colegio de Postgraduados. 31p. <https://doi.org/10.13140/2.1.5101.2161>.
- Quero-Carrillo AR, Miranda-Jiménez L, Morales-Nieto CR, Ramírez MJE, Zárate Ramos A, Hernández-Rodríguez M, Rojas-Rosas AG (2023) pasto banderita *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr. In: Quero CAR, Flores AE (eds.) Gramíneas nativas. Importancia e impacto en ecosistemas ganaderos. Libro técnico, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México. pp.167-193.
- Rodríguez-Ortega LT, Verde-Villegas DA, Hernández-Guzmán FJ, Castellón-Montelongo JL, Rodríguez-Ortega A (2021) Producción forrajera y semillas de *Panicum virgatum*, *Tripsacum dactyloides* y *Sporobolus airoides* en Tulancingo, Hidalgo. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* Núm. Esp. II: e2861. <https://doi.org/10.19136/era.a8nII.2861>.
- SAS (2001) SAS/STAT 9.1 user's guide. SAS Publishing. SAS Institute Inc., NC, USA. 5121p.
- Tilley JMA, Terry RA (1963) A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Grass and Forage Science* 18(2): 104-111.
- Van-Soest PJ, Robertson J, Lewis B (1991) Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal Dairy Science* 74: 3583-3597.
- Vedovatto M, da Silva PC, Marin BJA, Miranda CNI, de Lucca BAL, de Oliveira DM, da Graça MM, Loriani FG (2020) Inclusión de concentrado y de aditivos promotores de crecimiento en las dietas de ovinos sobre el consumo, digestibilidad, degradabilidad, variables ruminales y balance de nitrógeno. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 11(1): 132-152. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4981>

- Velázquez-Martínez M, Rodríguez-Ortega LT, Rojas-García AR, Enríquez-Quiroz JF, Santiago-Hernández F, Ramírez-Rojas SG, Hernández-Guzmán FJ (2022). Morphology and forage quality in buffel, rhodes, and blue grama grasses in Valle del Mezquital. *AgroProductividad* 15(1): 137-143. <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i1.2158>.
- Zamora-Salgado S, Ruiz-Espinoza FH, Beltrán-Morales FA, Fenech-Larios L, Murillo-Amador B, Loya-Ramírez J, Troyo-Diéguez E (2011) Régimen hídrico del maíz en una zona árida, determinado en porcentajes de evaporación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 13 (2): 181-186.