

REQUERIMIENTO TÉRMICO, PRODUCCIÓN Y VALOR NUTRITIVO DE FORRAJE DE GENOTIPOS DE SORGO

THERMAL REQUIREMENT, YIELD AND FORAGE NUTRITIVE VALUE OF SORGHUM GENOTYPES

Fernando Lucio-Ruiz¹, Ulises Aranda-Lara², Jonathan Raúl Garay-Martínez³, Santiago Joaquín-Cancino^{1*}, Benigno Estrada-Drouaillet¹, Yuridia Bautista-Martínez⁴ y Andrés Gilberto Limas-Martínez¹

¹Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Cd. Victoria, Tamaulipas, México. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Rio Bravo, Rio Bravo, Tamaulipas, México. ³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Las Huastecas, Villa Cuauhtémoc, Altamira, Tamaulipas, México. ⁴Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Medicina y Veterinaria, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

*Autor de correspondencia (sjoaquin@docentes.uat.edu.mx)

RESUMEN

El cultivo de sorgo se utiliza principalmente para la producción de grano; sin embargo, se requiere realizar investigación para conocer el potencial forrajero y realizar selección de genotipos sobresalientes, considerando diferentes parámetros. Los objetivos fueron evaluar el comportamiento forrajero de sorgo, mediante rendimiento, variables morfológicas y nutritivas, además de estimar el requerimiento térmico en condiciones subtropicales. En total se evaluaron 13 genotipos en un diseño de bloques completos al azar, mediante análisis de varianza, prueba de medias y análisis de componentes principales. Los genotipos Fortuna y 197-1 presentaron los mayores rendimientos de materia seca total (24.6 t ha⁻¹). Fortuna sobresalió en el rendimiento de hoja, con 9.23 t ha⁻¹ y 197-1 en el componente de tallo, con 14.96 t ha⁻¹. En las variables de valor nutritivo hubo diferencia en proteína cruda, almidón y grasa cruda, con rendimientos de hasta 94, 140 y 22 g kg⁻¹ de materia seca, respectivamente. El comportamiento forrajero de sorgo está determinado por el genotipo, que difieren en requerimientos térmicos (906 hasta 1539 GDD). Fortuna y 197-1 presentan potencial para ser considerados en la alimentación de rumiantes en cuanto al valor nutritivo.

Palabras clave: forraje, grados día desarrollo, materia seca, sorgo, valor nutritivo.

SUMMARY

Sorghum is mainly used for grain production; however, research is needed to know the forage potential and to select outstanding genotypes, considering different parameters. The objectives were to evaluate the forage performance of sorghum, through yield, morphological and nutritional variables, as well as to estimate the thermal requirement under subtropical conditions. A total of 13 genotypes were evaluated in a randomized complete block design, using analysis of variance, mean test and principal component analysis. Genotypes Fortuna and 197-1 had the highest total dry matter yields (24.6 t ha⁻¹). Fortuna excelled in leaf yield, with 9.23 t ha⁻¹ and 197-1 in the stem component, with 14.96 t ha⁻¹. In the nutritive value variables, there were differences in crude protein, starch and crude fat, with yields of up to 94, 140 and 22 g kg⁻¹ of dry matter, respectively. Forage performance of sorghum is determined by genotype, which differ in thermal requirements (906 to 1539 GDD). Fortuna and 197-1 have potential to be considered for ruminant feeding in terms of nutritive value.

Index words: degree of development, dry matter, forage, nutritive value, sorghum.

INTRODUCCIÓN

La ganadería en México es una de las actividades primarias más productivas y dinámicas. Se estima que el 56 % del territorio nacional (SIAP, 2020) realiza este tipo de actividad, mismo que alberga a la ganadería bovina como principal grupo de rumiantes, lo que permite al país posicionarse en el 8º lugar en la producción mundial de carne y pertenecer a los 10 países que concentran el 90 % de las exportaciones de carne de bovino (COMECARNE, 2021). Los diferentes sistemas de producción de bovino dependen, en parte o exclusivamente, de la disponibilidad de forrajes de praderas o agostaderos para cubrir la mayor cantidad de requerimientos nutricionales; en este rubro es donde existen más posibilidad de reducir costos con especies productivas y de mayor valor nutritivo (Zamora *et al.*, 2002). No obstante, la disponibilidad de forraje se encuentra asociada a la cantidad de luz, CO₂, humedad, nutrientes disponibles en el suelo, temperatura, tipo de fotosíntesis, estructura de la planta e índice de área foliar (Ruiz y Carrillo, 2005), por lo que, al presentarse variaciones dentro de estos factores diferentes a los requeridos por las plantas se afecta el rendimiento de forraje en praderas y agostaderos (Sosa *et al.*, 2008). Además, factores como la temperatura tienen influencia directamente sobre el crecimiento y desarrollo de los cultivos; es decir, temperaturas insuficientes o excesivas tienen efecto negativo en la producción de forraje, por lo que es indispensable realizar monitoreo de los requerimientos térmicos de los cultivos para adecuarlos a los ciclos de cultivo donde las temperaturas no representen una limitante en la producción de forraje (Liu *et al.*, 2020).

El cultivo del sorgo, por sus características forrajeras, sirve como complemento para satisfacer los requerimientos nutricionales de rumiantes en los sistemas

de pastoreo y como fuente principal de alimento para los animales en confinamiento. Por lo tanto, esta gramínea resulta una opción para la alimentación de los rumiantes considerando parámetros de cantidad y valor nutritivo (Vargas, 2005). A nivel nacional, las estadísticas de producción de grano de sorgo colocan a Tamaulipas como el principal estado productor para el año 2020, con una aportación de 40 % del total nacional, lo que lo convierte en un cultivo de alta importancia económica (SIAP, 2020). Existen variedades de sorgo para producción de grano, forraje y de doble propósito. Los genotipos de sorgo de doble propósito alcanzan rendimientos altos de forraje y contenidos altos de azúcares solubles, lo que representan una opción para ser utilizados en la alimentación animal como cultivo de corte o ensilado (Vargas, 2005). Sin embargo, para ser considerados como una opción para mejorar la alimentación animal es necesario conocer las características que determinan el rendimiento y el valor nutritivo del forraje de los diferentes genotipos disponibles, como las expresiones morfológicas, contenido de nutrientes y digestibilidad, principalmente (Ruiz y Carrillo, 2005). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar el comportamiento forrajero mediante el rendimiento de materia seca total y por componente morfológico y valor nutritivo de forraje, así como determinar el requerimiento térmico de diferentes genotipos de sorgo en condiciones subtropicales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localidad del estudio

La investigación se realizó dentro de las instalaciones de La Posta Zootécnica "Ing. Herminio García González" de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, ubicada en el kilómetro 22.5 Carretera Victoria-Monterrey municipio de Güémez, Tamaulipas ($23^{\circ} 56' 28''$ N y $99^{\circ} 06' 24''$ O) a 190 msnm. El clima del lugar se clasifica como semiárido cálido ($BS_1(h)hw$) (Vargas et al., 2007), con temperatura media anual de 24°C y una precipitación media anual de 940 mm, donde la mayor precipitación se presenta de mayo a octubre (SMN, 2010).

Material genético, diseño y parcela experimental

En la investigación se evaluaron 13 genotipos de sorgo: Paloma, 195-2, Williams, Arcos, Fortuna, 197-1-1, Gaviota, 197-1, Hardy, Kikapoo, 310/15, Sumiel Germiseeds® (Sorgo x Sudán) y Sumiel Leguminatre® (Sorgo x Sudán). En campo, el diseño experimental fue en bloques completos al azar con cuatro repeticiones, mientras que para las variables de composición química se utilizó un diseño completamente al azar. Para el establecimiento del ensayo

el terreno se dividió en 52 parcelas experimentales, cada unidad experimental estuvo constituida por tres surcos de 0.8 m de ancho y 5 m de largo.

Manejo agronómico

La preparación del terreno consistió en un barbecho, pase de rastra y surcado. La siembra se realizó el 12 de marzo del año 2021, con una sembradora manual de granos pequeños, para lo cual se aplicó un riego en la siembra y dos de auxilio a los 18 y 40 días después de la siembra (DDS). A los 20 DDS se realizó el aclareo de plantas para obtener una densidad uniforme de 187,500 plantas ha^{-1} . La dosis de fertilización usada fue 120N-80P-00K, aplicando todo el PK y el 50 % de N en la siembra y el resto a los 40 DDS. Para el control de plagas, como gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), mosca de la panoja (*Contarinia sorghicola*) y gusano barrenador (*Diatraea saccharalis*) se aplicó Cipermetrina (200 mL ha^{-1}), Imidacloprid (600 mL ha^{-1}), Clorantraniliprol (100 mL ha^{-1}) y Spinetoram (100 mL ha^{-1}).

Grado de días de desarrollo (GDD)

Para el cálculo de los GDD requeridos por el cultivo se registró la temperatura diaria durante el desarrollo del estudio (Figura 1) hasta el estado de grano masoso (R8), momento en el que se realizó el corte de cada uno de los tratamientos. Los GDD se calcularon mediante la siguiente fórmula (Junior et al., 2004).

$$\text{GDD} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{T_{\text{max}} + T_{\text{min}}}{2} - T_b \right)$$

Donde: GDD es el total de grados-día acumulados en el desarrollo del cultivo, T max es la temperatura máxima diaria, T min es la temperatura mínima diaria, Tb es la temperatura base y n es el número de días en el periodo de siembra a cosecha. La temperatura base se estableció en 15°C (Osuna-Ceja y Martínez-Gamiño, 2017).

Variables evaluadas

Previo a la cosecha se midió la altura de planta (cm), desde la base hasta la ligula de la hoja bandera, en 10 plantas al azar en cada unidad experimental. Para determinar el rendimiento total de forraje y por componente morfológico se consideró el momento en que 50 % de las plantas presentaron estado de grano masoso. En cada unidad experimental se cosecharon cinco plantas a 5 cm del suelo e inmediatamente se realizó la medición del peso. Posteriormente, se realizó la separación de componentes morfológicos considerando hoja, tallo, panícula y materia

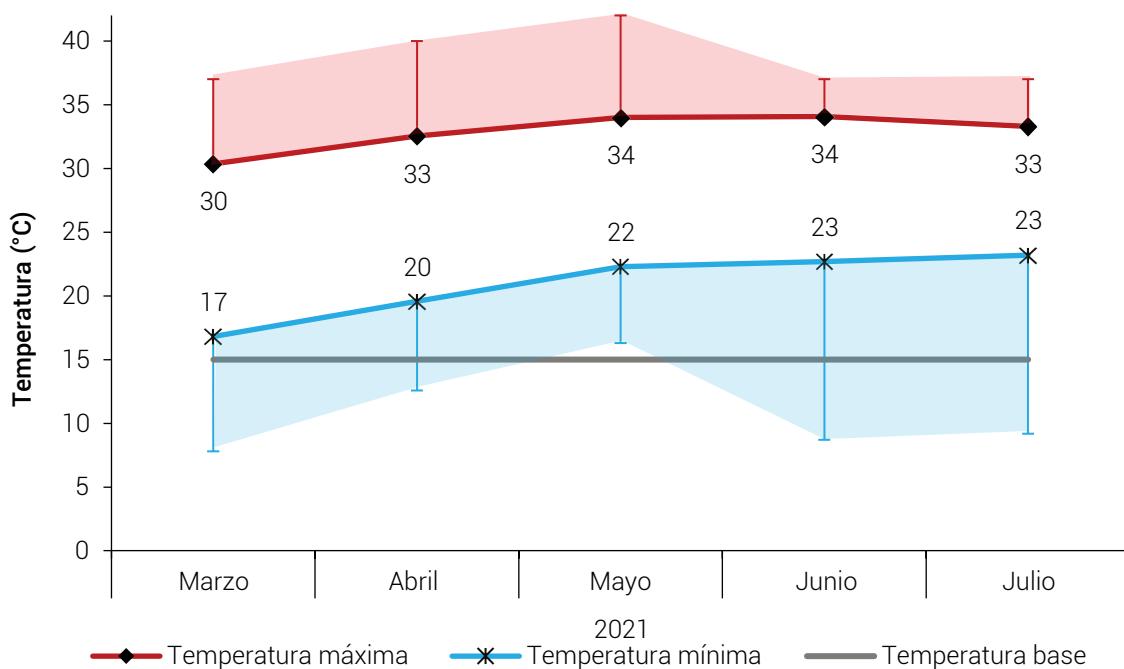


Figura 1. Temperatura mínima y máxima durante el ciclo de producción del cultivo y temperatura base del sorgo en Güémez, Tamaulipas.

senescente. Para obtener el peso de materia seca, cada componente se depositó en bolsas de papel y se ingresaron en estufa de aire forzado a una temperatura de 65 °C hasta temperatura constante. A continuación, se realizaron los cálculos para estimar el rendimiento de cada componente en t ha⁻¹.

La caracterización del valor nutritivo del forraje de sorgo se realizó mediante análisis de laboratorio utilizando el método de Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS, por sus siglas en inglés) (Pereira-Crespo *et al.*, 2022). Esta caracterización se realizó en siete genotipos sobresalientes para obtener las variables de proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácida (FDA), lignina, digestibilidad *in vitro* (DIV), almidón, grasa cruda (GC), energía metabolizable (EM), energía neta de lactancia (ENL), energía neta de mantenimiento (ENM), energía neta de ganancia (ENG), cenizas y valor relativo de forraje (VRF).

Análisis estadístico

En el análisis estadístico se realizó análisis de varianza, comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) y análisis de componentes principales, con el fin de establecer relaciones entre variables del valor nutritivo de forraje, reducir la dimensionalidad de los datos, analizar la dispersión de los materiales y agrupar genotipos semejantes. Todos los análisis se realizaron mediante el

procedimiento GLM del programa estadístico SAS (SAS, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores medios obtenidos para la altura de planta de cada uno de los genotipos de sorgo se presentan en la Figura 2, en la cual se observan diferencias entre los genotipos ($P < 0.05$). Dentro de estos, el genotipo 197-1 expresó la mayor altura de planta, con 227 cm, mientras que los genotipos Kikapoo, Hardy, Sumiel G., Sumiel L., Arcos, Fortuna y 197-1-1 fueron similares, con promedio de 173 cm. El resto de los tratamientos presentaron alturas de 100 cm en promedio. Por ejemplo, la variedad Paloma presentó menor altura, comparada a lo reportado por Montes-García *et al.* (2012). Al respecto, se ha encontrado que alturas de planta superiores a los 170 cm son indeseables, debido a que suelen presentar problemas de acame; no obstante, en esta investigación los genotipos con 173 cm en promedio no presentaron dicho problema (Williams-Alanís y Arcos-Cavazos, 2014). Respecto a la altura de planta, Oramas *et al.* (2003) mencionan que la altura de planta es determinante para explicar la población estudiada, mientras que, para Tucuch-Cauich *et al.* (2011) representa una variable significativa correlacionada con el rendimiento de forraje, variable que puede ser utilizada en programas de mejoramiento genético, debido a que ésta presenta heredabilidad alta.

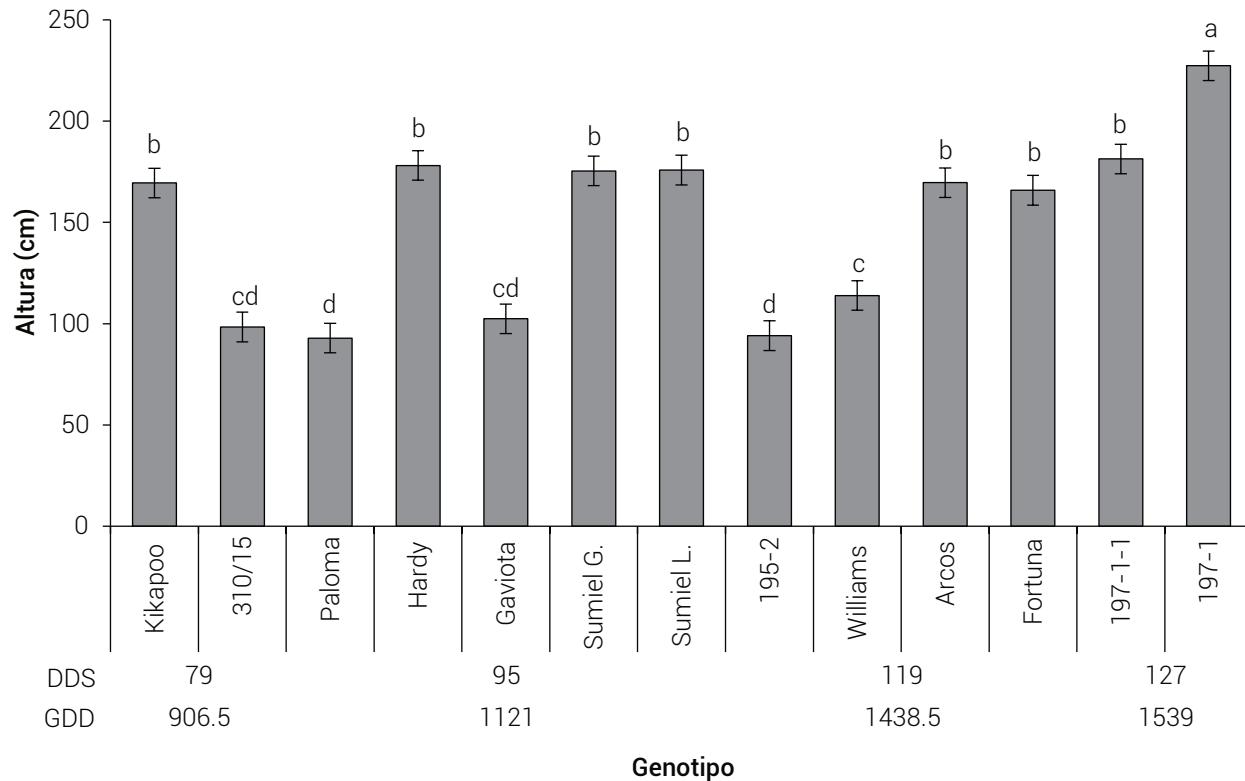


Figura 2. Altura de planta de genotipos de sorgo en Güémez, Tamaulipas (2021). DDS: días después de la siembra, GDD: grados día de desarrollo. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha = 0.05$).

La diferencia entre genotipos en el total de grados-día acumulados, en el desarrollo del cultivo después de la siembra y al momento del corte, propició que el total de los genotipos se agruparan en cuatro requerimientos térmicos diferentes (GDD). Los genotipos Kikapoo y 310/15 fueron los más precoces, con 906 GDD, mientras que los más tardíos fueron 197-1-1 y 197-1, con un requerimiento de 1539 GDD (Figura 2). Al respecto, al evaluar el genotipo de tipo dulce (Wray) y no dulce (H173), en la madurez de grano masoso, se encontró que ambos genotipos requirieron más de 1250 GDD; no obstante, la diferencia genética permite obtener en el genotipo Wray mayor porcentaje de sacarosa y 40 y 50 % menos de celulosa y lignina, respectivamente (Dolciotti *et al.*, 1998).

El rendimiento de materia seca total y por componente morfológico presentó diferencias significativas entre los genotipos ($P < 0.05$) (Cuadro 1). La materia seca total presentó un aumento conforme se incrementó la duración del ciclo. Los genotipos como Fortuna y 197-1, con 119 y 127 DDS, respectivamente, presentaron los mayores rendimientos, con 24.6 t ha^{-1} y 19.1 t ha^{-1} , respectivamente. Este comportamiento coincide con lo reportado por Williams-Alanís *et al.* (2007) y Sánchez *et al.* (2013), quienes mencionan que en genotipos tardíos

sucede una mayor tasa fotosintética y, con ello, mayor almacenamiento de nutrientes, que se traduce en mayor producción de materia seca.

En lo que respecta al rendimiento de materia seca por componente, el genotipo Fortuna fue superior a todos los genotipos en el componente hoja ($P < 0.05$), con 9.23 t ha^{-1} , seguido de los genotipos 197-1, 197-1-1, Arcos y 195-2, con rendimientos desde 5.82 hasta 4.77 t ha^{-1} (Cuadro 1). En el componente tallo, el genotipo Fortuna y 197-1-1 fueron superados por el genotipo 197-1, con 32 % más de rendimiento de materia seca. El rendimiento de los componentes hoja y tallo permite establecer una relación entre estos, por lo que, Fortuna y 197-1 se consideraron como genotipos sobresalientes; el primero mostró mayor proporción de hoja respecto al componente tallo en el estado de grano masoso. Al respecto, se ha recalado la importancia del monitoreo de estos dos componentes morfológicos, dado que permite estimar la calidad forrajera del material evaluado (Wilson *et al.*, 2020), estableciendo así que, a mayor proporción de hoja, mayor valor nutritivo del forraje (Liendo *et al.*, 2019). No obstante, en este experimento se obtuvieron relaciones hoja: tallo de hasta 2.17, con rendimientos de materia seca total menores a 10 t ha^{-1} . En cuanto a la materia seca de la panícula, los

Cuadro 1. Valores de rendimiento y grados días de desarrollo de genotipos de sorgo en Güémez, Tamaulipas, 2021.

Genotipo	DDS	GDD	MST	Hoja	Tallo	Panícula	Senescente	Relación hoja/tallo
					t ha ⁻¹			
Kikapoo	79	906	3.33 g	1.07 e	1.41 f	0.85 g	0.00 c	0.77 c
310/15	79	906	5.77 fg	2.2 d	1.86 ef	1.47 fg	0.25 c	1.25 b
Paloma	95	1121	8.61 ef	3.06 cd	2.12 ef	3.43 bc	0.00 c	1.45 b
Hardy	95	1121	9.56 de	2.25 d	4.17 d	3.14 cd	0.00 c	0.54 cd
Gaviota	95	1121	7.92 ef	2.56 cd	1.82 ef	3.54 bc	0.00 c	1.49 b
Sumiel G.	95	1121	9.13 de	2.25 d	3.44 de	3.45 bc	0.00 c	0.65 cd
Sumiel L.	95	1121	12.22 d	3.00 cd	4.43 d	4.79 a	0.00 c	0.68 cd
195-2	119	1439	9.84 de	4.77 b	2.20 ef	2.82 cde	0.04 c	2.17 a
Williams	119	1439	9.48 de	3.48 c	2.70 def	2.91 cde	0.38 c	1.30 b
Arcos	119	1439	15.98 c	4.88 b	7.05 c	3.10 cd	0.95 b	0.70 cd
Fortuna	119	1439	24.26 a	9.23 a	10.47 b	4.26 ab	0.31 c	0.89 c
197-1-1	127	1539	19.12 b	5.58 b	9.85 b	2.09 ef	1.61 a	0.57 cd
197-1	127	1539	24.93 a	5.82 b	14.96 a	2.25 def	1.92 a	0.39 d
Promedio			12.32	3.86	5.11	2.93	0.42	0.99

DDS: días después de la siembra, GDD: grados días de desarrollo, MST: materia seca total. Medias con distinta literal entre genotipos son diferentes estadísticamente (Tukey, $\alpha = 0.05$).

genotipos Sumiel L. y Fortuna presentaron los mayores rendimientos, con 4.52 t ha⁻¹ en promedio.

El análisis de varianza mostró diferencias entre los genotipos ($P < 0.05$) para las variables de proteína cruda (PC), almidón y grasa cruda (GC) (Cuadro 2). Los genotipos 197-1, Arcos, Fortuna, Paloma, Sumiel L. y Williams presentaron valores similares de PC, los cuales oscilaron entre 80 y 94 g kg⁻¹ ($P < 0.05$) (Cuadro 2). Estos valores fueron encontrados en sorgo negro forrajero entre los 108 y los 136 DDS (101 y 77 g kg⁻¹, respectivamente), lo cual muestra una diminución debido a los cambios en la proporción de hoja sobre el rendimiento de materia seca total, la cual disminuye de 18 a 12 % (Amador y Boschini, 2000). De acuerdo con Bolaños *et al.* (2012), la concentración de proteína se encuentra estrechamente relacionada con el área foliar por planta, por lo que, el porcentaje del componente hoja sobre el rendimiento de materia seca total juega un papel importante sobre el contenido proteico del forraje de sorgo.

En el contenido de almidón, los genotipos 197-1 y 197-1-1 presentaron los valores menores (23 y 28 g kg⁻¹,

respectivamente) respecto a Williams (140 g kg⁻¹; $P < 0.05$). Este último valor superó a lo reportado por Núñez *et al.* (2014) en ensilado de sorgo (121 g kg⁻¹); por ende, mayor concentración de almidón representa mayor aportación de energía a las bacterias ruminantes que favorecen la síntesis de proteína. Sin embargo, para la inclusión del almidón en la dieta es necesario considerar el tiempo de degradación de éste en el rumen y la cantidad a incluir en la dieta, para evitar problemas como la acidosis (Calsamiglia, 2015).

La grasa cruda (GC) en los genotipos presentó valores máximos de 22 g kg⁻¹ en el genotipo Sumiel L. y mínimo de 15 g kg⁻¹ en 197-1-1, valores semejantes (25 y 11 g kg⁻¹, respectivamente) a los reportados en genotipos de sorgo forrajero por el Centro de Investigación Agrícola Tropical (Vargas, 2005). Estos valores son aceptables en la calidad del forraje, dado que valores mayores a 50 g kg⁻¹ reducen la digestión de la fibra y el consumo de materia seca (Morand-Fehr y Tran, 2001).

La correlación entre las variables de valor nutritivo de forraje medidos en los siete genotipos seleccionados

Cuadro 2. Valor relativo y nutritivo de forraje de genotipos de sorgo en Güémez, Tamaulipas, 2021.

Variable	Genotipos							Promedio
	197-1	197-1-1	Arcos	Fortuna	Paloma	Sumiel	Williams	
PC (%)	8.03 ab	5.80 b	9.37 a	9.23 a	8.27 ab	8.07 ab	8.40 ab	8.17
FDA (%)	39.50 a	35.17 a	38.40 a	38.20 a	35.93 a	36.43 a	36.80 a	37.20
FDN (%)	65.17 a	57.77 a	62.23 a	59.90 a	58.57 a	55.60 a	59.23 a	59.78
LIGNINA (%)	4.87 a	5.50 a	3.77 a	4.47 a	4.77 a	5.03 a	4.40 a	4.69
DIV (%)	75.33 a	78.00 a	78.33 a	78.67 a	78.67 a	77.67 a	78.33 a	77.86
ALMIDÓN (%)	2.30 b	2.80 b	9.23 ab	8.17 ab	12.50 ab	11.90 ab	14.00 a	8.70
GC (%)	1.93 ab	1.53 b	2.07 a	2.00 a	2.13 a	2.17 a	2.00 a	1.98
ENL (Mcal/kg)	1.04 a	1.23 a	1.15 a	1.16 a	1.21 a	1.28 a	1.22 a	1.18
ENM (Mcal/kg)	1.06 a	1.23 a	1.21 a	1.17 a	1.22 a	1.27 a	1.23 a	1.20
ENG (Mcal/kg)	0.51 a	0.66 a	0.64 a	0.61 a	0.66 a	0.70 a	0.67 a	0.63
EM (Mcal/kg)	2.03 a	2.19 a	2.21 a	2.17 a	2.20 a	2.24 a	2.23 a	2.18
CENIZAS (%)	8.83 a	4.58 a	7.80 a	8.22 a	6.73 a	6.08 a	6.50 a	6.96
VRF	83.33 a	99.33 a	89.67 a	92.67 a	97.33 a	101.33 a	95.00 a	94.10

Medias con distinta literal entre genotipos son diferentes estadísticamente (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). PC: proteína cruda, FDA: fibra detergente ácida, FDN: fibra detergente neutra, DIV: digestibilidad *in vitro*, GC: grasa cruda, ENL: energía neta de lactancia, ENM: energía neta de mantenimiento, ENG: energía neta de ganancia, EM: energía metabolizable, VRF: valor relativo de forraje.

se resume en la Figura 3 del análisis de componentes principales. En el plano conformado por los dos primeros componentes principales se explica el 82.71 % de la variabilidad total. El primer componente explica el 60.93 % y las variables que más contribuyeron fueron energía neta de lactancia, energía neta de mantenimiento, energía neta de ganancia, energía metabolizable (ENM), valor relativo de forraje (VRF), variables con alta correlación positiva con el componente 1 y fibra detergente ácida (FDA) y fibra detergente neutro (FDN) con correlación negativa para el mismo componente 1, las cuales, en conjunto, contribuyeron en 80.41 % a la formación del primer componente (Cuadro 3). Éste componente expresa los genotipos Sumiel L., Williams y Paloma como los sobresalientes en las variables con correlación positiva. Resultados similares encontraron Núñez *et al.* (2014) en la evaluación de valor nutritivo de forraje, en el cual se muestra que las variables de ENL y VRF están correlacionados negativamente con FDN y FDA. En esta investigación, el genotipo Sumiel L. presentó VRF superior a 100, que, aunque no presentó diferencias significativas

con los demás genotipos ($P < 0.05$), representa buena calidad nutritiva de forraje. Al respecto, Nava *et al.* (2017), al evaluar la calidad de forraje de tres variedades de sorgo en diferentes ambientes, encontraron que el VRF se muestra igual entre genotipos, pero diferente entre ambientes, por lo que es indispensable recalcar que los resultados en este experimento son propios para las condiciones en las cuales se evaluaron.

El segundo componente explicó el 21.78 % de la varianza y las variables que más contribuyeron en la formación de éste fueron proteína y grasa cruda, con correlación positiva, y lignina, con correlación negativa, las cuales participaron en la formación de este componente en 48.93 % (Cuadro 3). La correlación entre las variables lignina y PC era de esperarse, dado que, al incrementarse los porcentajes de lignina, la PC disminuye (Barahona y Sánchez, 2005). En este experimento, el menor porcentaje de proteína cruda ($P < 0.05$) en la variedad 197-1-1 se asocia a valores altos de lignina. Respecto a este componente, Elikana *et al.* (2015) mencionan que genotipos de porte alto y de ciclo tardío

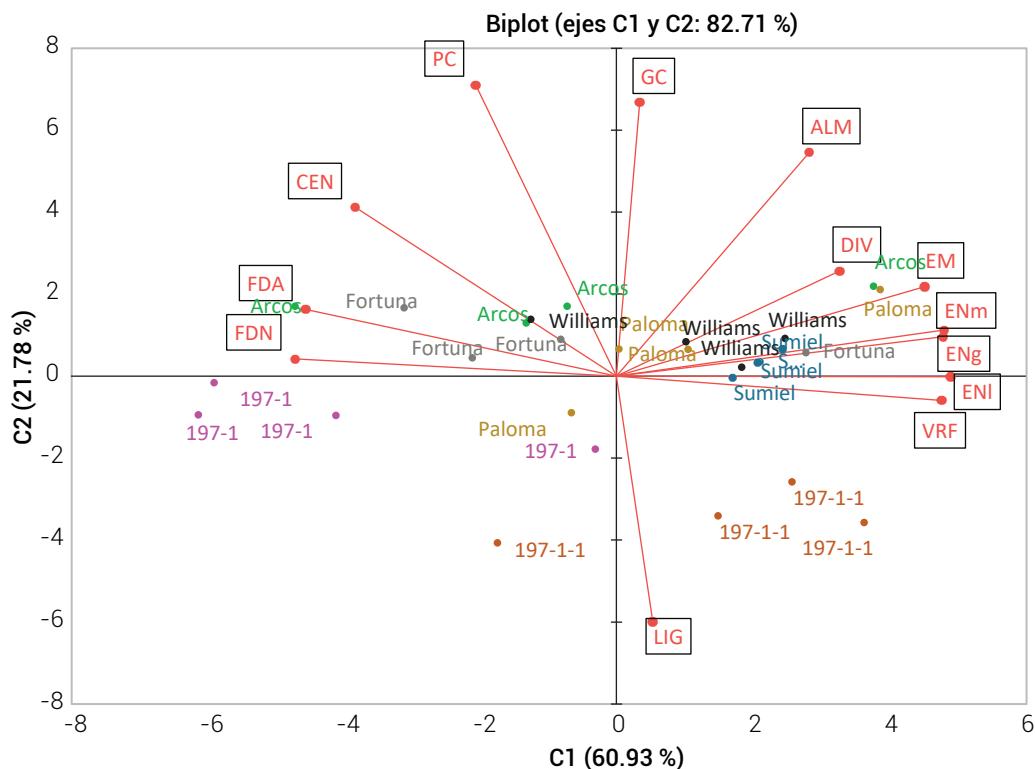


Figura 3. Distribución de las variables y los genotipos en los dos componentes principales. PC: proteína cruda, FDA: fibra detergente ácido, FDN: fibra detergente neutro, DIV: digestibilidad *in vitro*, GC: grasa cruda, ENL: energía neta de lactancia, ENm: energía neta de mantenimiento, ENg: energía neta de ganancia, EM: energía metabolizable, VRF: valor relativo de forraje, CEN: Cenizas, ALM: Almidón, LIG: lignina.

Cuadro 3. Correlación entre las variables y los componentes principales en los genotipos de sorgo en Güémez, Tamaulipas (2021).

Variable	C1	C2
Proteína Cruda	-0.416	0.857*
Fibra Detergente Ácida	-0.920*	0.196
Fibra Detergente Neutro	-0.953*	0.051
Lignina	0.107	-0.722*
Digestibilidad <i>In vitro</i>	0.661	0.310
Almidón	0.571	0.659
Grasa Cruda	0.068	0.806*
Energía Neta, Lactancia	0.990*	-0.002
Energía Neta, Mantenimiento	0.968*	0.116
Energía Neta, Ganancia	0.970*	0.135
Energía Metabolizable	0.912*	0.263
Cenizas	-0.774	0.497
Valor Relativo de Forraje	0.962*	-0.071
Contribución ⁺	80.41 %	48.93 %

*Variables de mayor relación con el componente. ⁺Contribución de las variables de mayor relación con el componente.

tienden a tener mayores porcentajes de lignina, debido a la necesidad de resistencia para soportar la altura y mayor producción de biomasa.

CONCLUSIONES

El comportamiento forrajero del sorgo está determinado por el genotipo. La duración del ciclo hasta el estado de grano masoso agrupó a los genotipos en diferentes requerimientos térmicos. Sobresalieron los genotipos Fortuna y 197-1 con los mayores rendimientos de materia seca total y Fortuna y Sumiel L con mayor proporción de hoja respecto al rendimiento de materia seca total. El valor nutritivo de forraje permite considerar a los genotipos 197-1, Arcos, Fortuna, Paloma, Sumiel L. y Williams con potencial para ser considerados en la alimentación de rumiantes.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Tamaulipas, por la aprobación del Proyecto UAT/SIP/INV/2022/018, en enlace con la Facultad de Ingeniería y Ciencias. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por la beca otorgada al

primer autor. Al INIFAP-Campo Experimental Rio Bravo, por la aportación de ocho genotipos de sorgo para la realización de la presente investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Amador A. L. y C. Boschini (2000) Calidad nutricional de la planta de sorgo negro forrajero (*Sorghum alnum*) para alimentación animal. *Agronomía Mesoamericana* 11:79-84.
- Barahona R. R. y S. Sánchez P. (2005) Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. *Revista Corpoica* 6:69-82.
- Bolaños A. E. D, J. C. Emile y G. Audebert (2012) Rendimiento y calidad de híbridos de sorgo con y sin nervadura café. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3:441-449.
- Calsamiglia S. (2015) Consideraciones sobre el uso de almidones en racionamiento del vacuno lechero. *Frisona Española* 210:100-103.
- COMECAÑE, Consejo Mexicano de la Carne (2021) Compendio estadístico 2021. Cd Victoria. <https://comecarne.org/compendio-estadistico-2021/> (Febrero 2022).
- Dolciotti I., S. Mambelli, S. Grandi and G. Venturi (1998) Comparison of two Sorghum genotypes for sugar and fiber production. *Industrial Crops and Products* 7:265-272.
- Elikana A. S., Z. Li-Min, X. Yan, Z. Yu-Miao, L. Zhi-Quan and J. Hai-Chun (2015) Sweet sorghum ideotypes: genetic improvement of the biofuel syndrome. *Food and energy security* 4:159-177, <https://doi.org/10.1002/fes3.63>
- Junior M. J. P., M. B. P. de Camargo, A. V. C. Moraes, J. C. Felício e J. L. de Castro (2004) Temperatura-base, graus-dia e duração do ciclo para cultivares de triticale. *Bragantia Campinas* 63:447-453.
- Liendo M. E., A. A. González, L. E. Olea, A. Alegre, L. Suárez, M. Guérineau, G. O. Martín y J. R. Toll (2019) Relación Hoja-Tallo en el estado fenológico de floración, en gramíneas naturales y cultivadas del Chaco Occidental semiárido del departamento Trancas, Tucumán, Argentina. *Revista Agronómica del Noreste Argentino* 39:45-51.
- Liu Y., L. Su, Q. Wang, J. Zhang, Y. Shan and M. Deng (2020) Comprehensive and quantitative analysis of growth characteristics of winter wheat in China based on growing degree days. *Advances in agronomy* 159:237-273, <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.07.007>
- Montes-García N., H. Williams-Alanís, T. Moreno-Gallegos, M. E. Cisneros-López y V. Pecina-Quintero (2012) RB-Paloma, variedad de sorgo blanco para producción de grano y forraje. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35:185-187.
- Morand-Fehr P. et G. Tran (2001) La fraction lipidique des aliments et les corps gras utilisés en alimentation animale. *Productions Animales* 14:285-302.
- Nava B. C. A., R. Rosales S., R. Jiménez O., F. O. Carrete C., P. A. Domínguez M. y M. Murillo O. (2017) Rendimiento y valor nutricional de tres variedades de sorgo dulce cultivadas en cuatro ambientes de Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 8:147-155, <http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v8i2.4426>
- Núñez H. G., K. Rodríguez H., J. A. Granados N., A. Anaya S. y U. Figueroa V. (2014) Calidad nutricional y utilización de forrajes en explotaciones lecheras en la región lagunera. *Agrofaz* 14:33-41.
- Oramas G., C. M. Torres, E. García y M. Sánchez (2003) Evaluación de nuevas variedades de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Cultivos Tropicales* 24:73-78.
- Osuna-Ceja E. S. y M. A. Martínez-Gamíño (2017) Rendimiento y calidad de forraje de maíz y sorgo de temporal a cuatro y seis hiladas en Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8:1259-1272.
- Pereira-Crespo S., A. Botana, M. Veiga, C. Resch, L. González, R. Lorenzana, V. García-Souto, M. del P. Martínez-Díz y G. Flores-Calvete (2022) Predicción del valor nutricional de sorgo para forraje mediante espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) y ecuaciones empíricas. *Tropical Grasslands* 10:249-260, [https://doi.org/10.17138/tgtf\(10\)249-260](https://doi.org/10.17138/tgtf(10)249-260)
- Ruiz V. J. y J. C. Carrillo R. (2005) Selección de cultivares forrajeros de sorgo (*Sorghum bicolor*) y mijo (*Pennisetum americanum*) por índices de eficiencia de producción y calidad. *Agronomía Mesoamericana* 16:153-160.
- Sánchez H. M. A., C. U. Aguilar M., N. Valenzuela J., B. M. Joaquín T., C. Sánchez H., M. C. Jiménez R. y C. Villanueva V. (2013) Rendimiento en forraje de maíces del trópico húmedo de México en respuesta a densidades de siembra. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 4:271-288.
- SAS, Statistical Analysis System (2009) Versión 9.0, https://www.sas.com/en_us/software/stat.html (Julio 2022).
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2020) Anuario estadístico de la producción agrícola. Cd Victoria, <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Febrero 2022).
- SMN, Sistema Meteorológico Nacional (2010) Normales climatológicas por Estado. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=tamps> (junio 2023).
- Sosa R. E. E., E. Cabrera T., D. Pérez R. y L. Ortega R. (2008) Producción estacional de materia seca de gramíneas y leguminosas forrajeras con cortes en el estado de Quintana Roo. *Técnica Pecuaria Mexicana* 46:413-426.
- Tucuch-Cauich C. A., S. A. Rodríguez-Herrera, M. H. Reyes-Valdés, J. M. Pat-Fernández, F. M. Tucuch-Cauich y H. S. Córdova-Orellana (2011) Índices de selección para producción de maíz forrajero. *Agronomía Mesoamericana* 22:123-132.
- Vargas R. C. F. (2005) Valoración nutricional y degradabilidad ruminal de genotipos de sorgo forrajero (*Sorghum* sp.). *Agronomía Mesoamericana* 16:215-223.
- Vargas T. V., R. M. E. Hernández, L. J. Gutiérrez, D. C. J. Plácido y C. A. Jiménez (2007) Clasificación climática del Estado de Tamaulipas, México. *CienciaUAT* 2:15-19, <https://revistaciencia.uat.edu.mx/index.php/CienciaUAT/article/view/444/254>
- Williams-Alanís H. y G. Arcos-Cavazos (2014) Comportamiento agronómico de híbridos y progenitores de sorgo para grano en las Huastecas. *Agronomía Mesoamericana* 26:87-99, <https://doi.org/10.15517/am.v26i1.16926>
- Williams-Alanís H., U. Aranda-Lara, G. Arcos-Cavazos, F. Zavala-García, M. C. Rodríguez-Vázquez y E. Olivares-Sáenz (2007) Potencial productivo de variedades experimentales de sorgo blanco para el sur de Tamaulipas. *Nova Scientia* 13:1-19, <http://dx.doi.org/10.21640/ns.v13i26.2688>
- Wilson G. C. Y., N. E. López Z., P. Álvarez V., J. Ventura R., M. E. Ortega C. y M. I. Venegas A. (2020) Acumulación de forraje, composición morfológica e intercepción luminosa en Triticale 118 (X *Triticosecale* Wittmack). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 24:221-229.
- Zamora V. V. M., A. J. Lozano R., A. López B., M. H. Reyes V., H. Díaz S., J. M. Martínez R. y J. M. Fuentes R. (2002) Clasificación de triticales forrajeros por rendimiento de materia seca y calidad nutritiva en dos localidades de Coahuila. *Técnica Pecuaria Mexicana* 40:229-24.