

Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Title Paper/Título del artículo:

Caracterización agronómica de líneas avanzadas F7 de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) en el centro de Sinaloa

Agronomic characterization of advanced F7 sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) lines in central Sinaloa

Authors/Autores: López-Guzmán, J. A., Valenzuela-Escoboza, F. A., Cortez-Mondaca, E., Hernández-Espinal, L. A., Payan-Arzapalo, M. A., Gutiérrez-Gutiérrez, O. G.

ID: e2069

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e2069>

Received/Fecha de recepción: September 25th 2025

Accepted /Fecha de aceptación: April 13th 2026

Available online/Fecha de publicación: April 28th 2026

Please cite this article as/Como citar este artículo: López-Guzmán, J. A., Valenzuela-Escoboza, F. A., Cortez-Mondaca, E., Hernández-Espinal, L. A., Payan-Arzapalo, M. A., Gutiérrez-Gutiérrez, O. G. (2026). Agronomic characterization of advanced F7 sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) lines in central Sinaloa. *Revista Bio Ciencias*, 13, e. <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e2069>

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our customers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Este archivo PDF es un manuscrito no editado que ha sido aceptado para publicación. Esto es parte de un servicio de Revista Bio Ciencias para proveer a los autores de una versión rápida del manuscrito. Sin embargo, el manuscrito ingresará a proceso de edición y corrección de estilo antes de publicar la versión final. Por favor note que la versión actual puede contener errores de forma.

Artículo original

Caracterización agronómica de líneas avanzadas F7 de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) en el centro de Sinaloa
Agronomic characterization of advanced F7 sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) lines in central Sinaloa

**Caracterización agronómica de sorgo/
Agronomic characterization of sorghum**

López-Guzmán, J. A.¹ (<https://orcid.org/0000-0001-8770-4817>), Valenzuela-Escoboza, F. A. ^{1*} (<https://orcid.org/0000-0001-6203-1695>), Cortez-Mondaca, E. ² (<https://orcid.org/0000-0001-5728-5404>), Hernández-Espinal, L. A. ³ (<https://orcid.org/0009-0008-0675-2752>), Payan-Arzapalo, M. A. ⁴ (<https://orcid.org/0009-0005-3818-9093>), Gutiérrez-Gutiérrez, O. G. ⁵ (<https://orcid.org/0000-0001-5774-0577>)

¹Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte-Universidad Autónoma de Sinaloa. Calle 16 av. Japaraqui S/N, Juan José Ríos, Sinaloa, México. CP.81110.

²Campo Experimental Valle del Fuerte-INIFAP. Carretera Internacional México-Nogales km 1609, Juan José Ríos CP. 81110, Sinaloa, México.

³Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 294-SEP. De la Juventud 264, Real, CP. 23680. Cd. Constitución, Comondú, Baja California Sur.

⁴ Facultad de Agronomía-Universidad Autónoma de Sinaloa. Carretera Culiacán-EIDorado Km 17.5, CP: 80000, Culiacán, Rosales, Sinaloa, México.

⁵Campo Experimental Valle de Culiacán-INIFAP. Carretera Culiacán-EIDorado Km 17.5, CP: 80000, Culiacán, Rosales, Sinaloa, México.

***Corresponding Author:**

Fernando Alberto Valenzuela Escoboza. Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte-Universidad Autónoma de Sinaloa. Calle 16 Av. Japaraqui S/N, Juan José Ríos, Sinaloa, México. Teléfono: (668) 114 0608. E-mail: fernando.vzla@favf.mx

RESUMEN

Los recursos genéticos son las bases biológicas para una seguridad alimentaria, conforman la diversidad genética que contienen las variedades tradicionales. El estado de Sinaloa, es el séptimo productor de sorgo a nivel nacional, donde se produce alrededor de 300, 000 toneladas de grano del total de la producción nacional. El objetivo de la presente investigación fue realizar la caracterización agronómica de diez líneas avanzadas F7 de sorgo con fines de liberación comercial. Se evaluaron diez líneas de sorgo generadas por el programa de mejoramiento genético del Campo Experimental Valle de Culiacán, perteneciente al INIFAP. Las líneas evaluadas fueron: BT09T9B, BT09E8B, BT09E8R, BT09E8AB, BT09E8AR, BT09E1GR, BT09E8 R2, BT09T5, BT09T9R y BT09E1GB. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones, la unidad experimental constó de 4 surcos de 5 metros lineales, a una separación entre surcos de 0.80 m y se utilizó el manejo agronómico recomendado por el INIFAP, para el cultivo de sorgo en el estado de Sinaloa. La línea BT09T9B fue la que presentó los mayores rendimientos de grano y forraje (3.9 y 35.2 t ha⁻¹, respectivamente), debido a esto se está considerando para su registro como nueva variedad comercial para el estado de Sinaloa.

PALABRAS CLAVE:

Caracterización, rendimiento, forraje, grano.

ABSTRACT

Genetic resources form the biological foundation for food security, comprising the genetic diversity found in traditional varieties. Sinaloa state is the seventh-largest sorghum producer in Mexico, contributing approximately 300,000 tons to the national total. This research aimed to perform the agronomic characterization of ten advanced F7 sorghum lines with commercially available varieties. Ten sorghum lines developed by the genetic improvement program at the Valle de Culiacan Experimental Field, part of INIFAP, were evaluated. The lines included: BT09T9B, BT09E8B, BT09E8R, BT09E8AB, BT09E8AR, BT09E1GR, BT09E8 R2, BT09T5, BT09T9R, and BT09E1GB. A randomized complete block design with four replications was used. The experimental units comprised four 5-meter-long rows with a row spacing of 0.80 m. The agronomic management recommended by INIFAP for sorghum cultivation in Sinaloa state was followed. The BT09T9B line showed the highest grain and forage yields (3.9 and 35.2 t ha⁻¹, respectively) and is being considered for registration as a new commercial variety in Sinaloa state.

KEY WORDS:

Characterization, yield, forage, grain.

Introducción

La caracterización agronómica constituye una herramienta fundamental en el estudio de los recursos genéticos, ya que permite describir de manera sistemática los atributos morfológicos, fisiológicos y productivos de las accesiones pertenecientes a una misma especie. Esta caracterización incluye tanto variables cualitativas como cuantitativas, y tiene como propósito principal identificar el potencial de uso de cada aceción, evaluar su variabilidad genética y establecer relaciones entre ellos. Además, facilita la detección de genes de interés que pueden ser incorporados en programas de mejoramiento genético, contribuyendo así el desarrollo de cultivares más eficientes y adaptados a condiciones específicas (Pandey *et al.*, 2010).

Los recursos genéticos agrícolas representan la base biológica de la seguridad alimentaria mundial. Estos comprenden la diversidad de materiales genéticos presentes en variedades locales, cultivos tradicionales y líneas mejoradas, y constituyen la materia prima indispensable para los programas de fitomejoramiento. Su conservación y uso racional son esenciales para enfrentar los desafíos derivados del cambio climático, la degradación de los ecosistemas y el aumento de la demanda alimentaria. En este sentido, los mejoradores dependen de esta diversidad genética para generar cultivos más resilientes, productivos y sostenibles, lo que a su vez permite una distribución equitativa de los beneficios derivados de su utilización (Villeda-Castillo *et al.*, 2019).

En el caso del sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), Pandey *et al.* (2010) señalan que los métodos tradicionales de mejoramiento, como la selección recurrente y producción de híbridos, enfrentan limitaciones importantes, entre ellas destacan la capacidad de la especie para cruzarse con otras del mismo género, lo que puede generar problemas de segregación genética, y la baja diversidad genética disponible en los bancos de germoplasma, lo que restringe el potencial de mejora. Estas limitaciones hacen necesario explorar nuevas estrategias de caracterización y selección que permitan ampliar la base genética del cultivo y mejorar su rendimiento en condiciones adversas.

La creciente necesidad de incrementar la producción de cereales de manera sostenible ha llevado a los productores a buscar alternativas que les permitan obtener mayores rendimientos en

áreas marginales o de baja productividad, sin embargo, en muchos casos se recurre al uso de variedades que no están adaptadas a las condiciones agroclimáticas locales, lo que puede afectar negativamente el desempeño agronómico y la estabilidad de los cultivos (Williams-Alanís *et al.*, 2022). Esta situación pone de manifiesto la importancia de contar con materiales genéticos adaptados y evaluados en condiciones específicas, que respondan a las necesidades reales de los sistemas agrícolas (Williams-Alanís *et al.*, 2021; Pérez *et al.*, 2010).

En el contexto mexicano, el cultivo de sorgo ocupa un lugar destacado dentro del panorama agrícola nacional, con una producción anual estimada en 4.8 millones de toneladas y una superficie sembrada que supera los 1.3 millones de hectáreas, el sorgo se posiciona como uno de los principales cereales cultivados en el país, después del maíz (SIAP 2025). El estado de Sinaloa, ubicado en el noroeste de México, se encuentra entre los principales productores de sorgo a nivel nacional, ocupando el séptimo lugar con una producción aproximada de 150 mil toneladas. Cabe destacar que más del 95 % de esta producción se destina a la alimentación animal, lo que subraya su relevancia en los sistemas pecuarios regionales (Reyes-Rodríguez *et al.*, 2017; SAGARPA, 2017).

Dada la importancia del sorgo en la seguridad alimentaria y en la economía agrícola del país, resulta prioritario desarrollar líneas genéticas con alto potencial productivo y adaptabilidad a diferentes condiciones agroecológicas (Rodríguez-Gómez *et al.*, 2021). En este sentido, el presente estudio tuvo como objetivo realizar la caracterización agronómica de diez líneas avanzadas F7 de sorgo con fines de liberación comercial. Estas líneas fueron seleccionadas por sus atributos sobresalientes en cuanto a producción de grano y forraje, y se espera que su incorporación al sistema productivo contribuya a mejorar la eficiencia y sostenibilidad del cultivo en México.

Material y Métodos

Material genético utilizado

Para esta investigación se seleccionaron diez líneas avanzadas de sorgo desarrolladas por el programa de mejoramiento genético del Campo Experimental Valle de Culiacán (CEVACU), unidad perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Estas líneas, se presentan en la Tabla 1, fueron obtenidas mediante procesos de selección dirigidos a mejorar características agronómicas, lo que las convierte en potenciales candidatas para su registro como variedades comerciales, tanto para la producción de grano como forraje. Durante el ciclo agrícola primavera-verano (SS) 2022, se llevó a cabo la multiplicación de semilla con el propósito de contar con suficiente material vegetal para realizar los ensayos de evaluación agronómica. Esta etapa fue esencial para garantizar la uniformidad genética y la disponibilidad de semilla en cantidad adecuada, permitiendo así la implementación de pruebas comparativas bajo condiciones de campo. El incremento de semilla también aseguro que cada línea pudiera ser evaluada de manera consistente en cuanto a su rendimiento, adaptación y estabilidad en el entorno agroecológico definido para el estudio.

Tabla 1. Líneas de sorgo evaluadas y su origen.

No.	Nombre genealogía	Origen
1	BT09T9B	CEVACU
2	BT09E8B	CEVACU
3	BT09E8R	CEVACU
4	BT09E8AB	CEVACU
5	BT09E8AR	CEVACU
6	BT09E1GR	CEVCAU
7	BT09E8 R2	CEVCAU
8	BT09T5	CEVACU
9	BT09T9R	CEVACU
10	BT09E1GB	CEVACU

Conducción del experimento

La fase de campo se estableció bajo condiciones de riego durante los ciclos agrícolas Otoño-Invierno (AW) 2022-2023 y 2023-2024 en el CEVACU, del INIFAP, localizado en el municipio de Culiacán, Sinaloa, México. El sitio se ubica en la región central del estado de Sinaloa, entre los meridianos 106° 56'50" y 107° 50'15" de longitud oeste del meridiano de Greenwich y las coordenadas extremas de los paralelos 24° 02'10" y 25° 14'56" de latitud norte. El municipio de Culiacán presenta una altura promedio sobre el nivel del mar de 54 m, con un clima seco semicálido y temperaturas que van de 23 a 26 °C, la precipitación pluvial varía de 400 a 600 mm anuales (Rendón, 1995; INEGI 2025).

Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con diez tratamientos y cuatro repeticiones, la unidad experimental constó de 4 surcos de 5 metros de longitud, a una separación entre surcos de 0.80 m (un área de parcela de 16 m²). El manejo agronómico del cultivo se realizó de acuerdo a la recomendación de INIFAP para el cultivo de sorgo en el estado de Sinaloa (Moreno-Gallegos *et al.*, 2020). La fecha de siembra para ambos ciclos se realizó la segunda quincena del mes de enero, con una densidad de 18 kg de semilla por ha, equivalente a 26-28 semillas por metro lineal. Se utilizó una dosis de fertilización de 180-40-00 (N-P-K), como fuentes de nitrógeno se utilizó la Urea (46 %) y para el fósforo el DAP (18-46 %), la siembra se realizó en tierra venida (humedad) y se aplicaron tres riegos de auxilio; 35, 65 y 90 días después de la siembra, el tipo de riego utilizado fue rodado.

Variables evaluadas

La descripción varietal y toma de los principales datos agronómicos se realizó utilizando los descriptores de la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV, 2015) clave descriptor TG/122/4. Las principales variables evaluadas se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Variables evaluadas, unidad de medida y método de medición en diez líneas de sorgo.

Variable	Unidad de medida	Método y/o época de medición
Días a floración	Días	Cuando el 50 % de la panoja está en estado floral.
Altura de planta	Metros (m)	De la base del suelo al ápice de la panoja (con ayuda de una regla tipo estadal).
Longitud de panoja	Centímetros (cm)	Del inicio del pedúnculo hasta la punta de la panoja, se utilizó una regla de 50 cm para la medición.
Excursión de panoja	Centímetros (cm)	Del inicio de la panoja hasta la lígula de la hoja bandera (regla de 50 cm).
Grados Brix		Se utilizó un refractómetro de la marca Atago (modelo 300001), en la etapa de grano lechoso-masoso (Prasad <i>et al.</i> , 2007).
Número de hojas por planta		Se contabilizó el número de hojas en cada planta evaluada, durante la etapa lechoso-masoso
Largo de hoja	Centímetros (cm)	Hoja central de la planta
Ancho de hoja	Centímetros (cm)	Hoja central de la planta
Diámetro de tallo	Centímetros (cm)	En la parte media de la planta cuando la panoja esta emergida (con ayuda de un vernier)
Rendimiento de grano	Toneladas	En una muestra de un surco de 4 metros de longitud, a una humedad del 14 %.
Rendimiento de forraje verde	Toneladas	En una muestra de un surco de 4 metros de longitud, en estado lechoso-masoso.

Análisis de los datos

Se realizó el análisis de varianza para bloques completos al azar y la separación de medias por (DMS $p < 0.05$) para la diferenciación estadística de los genotipos evaluados. El análisis se realizó con el paquete estadístico SAS 9.3 (2006).

Resultados y Discusión

Existe un comportamiento distinto en cada característica agronómica evaluada de las diez líneas de sorgo, según el análisis estadístico descriptivo. Los valores del coeficiente de variación indican heterogeneidad en el comportamiento de las accesiones (Villeda-Castillo *et al.*, 2019), en el presente trabajo se puede observar que los coeficientes de variación se encuentran entre 2.3 y 13.1 % (Tabla 3).

La precocidad es una característica importante, esta permite obtener una producción en menor tiempo y ser de utilidad para reducir el intervalo de un cultivo y el siguiente (Williams-Alanís *et al.*, 2025; 2017) en esta variable se encontraron diferencias significativas entre los genotipos, en los cuales se puede observar a las líneas BT09E8 R2 y BT09T9R como las más tardías, 73 días a floración, en contraste con las líneas BT09E8B y BT09E1GR las cuales fueron las más precoces con 69 días. Murphy *et al.* (2014) mencionan que cuando la estación de crecimiento se acorta (ciclos precoces), el sorgo presenta ventajas en condiciones de sequía, altas temperaturas y menor tiempo expuesto a problemas sanitarios, en comparación con sorgos de ciclo tardío.

La altura de planta es un componente agronómico que incide en la producción de biomasa (forraje) su desarrollo depende de las condiciones bióticas y abióticas (Williams-Alanís *et al.*, 2017). Para la variable altura de planta se presentaron valores promedio de 298 cm, la línea BT09E8B fue la que presentó la mayor altura de planta 340 cm y la línea BT09E1GB fue la que presentó una menor altura 212 cm. Sylvester *et al.* (2015) mencionaron que frecuentemente los sorgos dulces presentan alturas de plantas superiores a los 3.0 m, en el presente estudio se puede observar que seis de las líneas evaluadas presentaron una altura de planta superior a los 3.0 m, las cuales pueden ser consideradas para evaluar su producción de bioetanol. Amador y Boschini (2000) en un estudio realizado en genotipos de sorgo reportan alturas máximas de 2.74 m, mientras que Afzal *et al.* (2012) reportan alturas de sorgos de 1.94 m en sorgos forrajeros, las diferencias de alturas de planta se pueden atribuir a que en la actualidad existen genotipos con mejores características y mayor potencial de rendimiento.

La línea BT09E8AR presentó la panoja más larga (26 cm) mientras que la línea BT09E8B presentó la panoja más corta (21.8 cm), el promedio general de longitud de panoja fue de 24.4 cm. El promedio de la longitud de panoja de estas diez líneas evaluadas fue similar a lo reportado por Rebollar-Ávila *et al.* (2018) y León-Velasco *et al.* (2009), quienes reportan longitudes desde 18.1 a 27.7 cm, lo que confirma que esta variable es un buen descriptor varietal (UPOV, 2015)

ARTÍCULO EN PREPARACIÓN

Tabla 3. Comparación de medias \pm error estándar de las principales 12 características agronómicas, en diez líneas F7 experimentales de sorgo.

Genotipo	Días a floración	Altura de planta (m)	Longitud de panoja (cm)	Excursión de panoja (cm)	° Brix	Número de hojas por planta	Longitud de la hoja (cm)	Ancho de la hoja (cm)	Diámetro de tallo (cm)	Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)	Rendimiento de forraje (t ha ⁻¹)	Color de grano
BT09T9B	70.4 \pm 1.6 ^{ab}	3.09 \pm 0.08 ^{bc}	25.0 \pm 0.8 ^{ab}	20.2 \pm 1.1 ^{abc}	13.4 \pm 1.1 ^a	10.0 \pm 0 ^{bcd}	81.0 \pm 6.9 ^{bcd}	6.8 \pm 0.5 ^{ab}	1.2 \pm 0.04 ^b	3.9 \pm 0.1 ^a	35.2 \pm 0.7 ^a	Blanco
BT09E8B	69.0 \pm 1.4 ^b	3.40 \pm 0.08 ^a	21.8 \pm 2.0 ^c	12.8 \pm 0.7 ^d	11.9 \pm 2.3 ^a	12.4 \pm 0.4 ^a	92.2 \pm 3.7 ^a	7.4 \pm 0.8 ^{ab}	1.5 \pm 0.07 ^{ab}	3.1 \pm 0.2 ^d	32.0 \pm 1.6 ^{bc}	Blanco
BT09E8R	71.8 \pm 0.7 ^{ab}	3.09 \pm 0.11 ^{bc}	26.8 \pm 0.7 ^a	18.6 \pm 0.4 ^{bc}	12.3 \pm 1.9 ^a	11.0 \pm 0.6 ^{abc}	87.4 \pm 2.2 ^{abc}	7.0 \pm 0.7 ^{ab}	1.4 \pm 0.2 ^{ab}	3.2 \pm 0.2 ^{cd}	32.0 \pm 0.6 ^{bc}	Rojo
BT09E8AB	73.0 \pm 1.4 ^a	2.92 \pm 0.16 ^{bc}	25.0 \pm 1.1 ^{ab}	11.6 \pm 0.8 ^d	11.3 \pm 0.9 ^a	10.0 \pm 0.6 ^{bcd}	88.2 \pm 3.5 ^{ab}	7.8 \pm 0.6 ^{ab}	1.5 \pm 0.1 ^{ab}	3.7 \pm 0.10 ^{ab}	31.2 \pm 1.7 ^{cd}	Blanco
BT09E8AR	70.6 \pm 2.8 ^{ab}	3.17 \pm 0.05 ^{ab}	26.0 \pm 0.6 ^{ab}	17.6 \pm 1.6 ^c	11.1 \pm 1.4 ^a	10.2 \pm 0.4 ^{bc}	81.8 \pm 5.4 ^{bcd}	6.9 \pm 0.8 ^{ab}	1.5 \pm 0.1 ^{ab}	3.7 \pm 0.1 ^{ab}	32.2 \pm 1.1 ^{abc}	Rojo
BT09E1GR	68.4 \pm 0.8 ^b	3.16 \pm 0.13 ^{ab}	22.4 \pm 1.0 ^c	21.2 \pm 0.9 ^{ab}	11.60.9 \pm 1 ^a	10.2 \pm 0.7 ^{bc}	78.2 \pm 3.1 ^{cd}	7.4 \pm 1.1 ^{ab}	1.5 \pm 0.1 ^{ab}	3.0 \pm 0.1 ^d	34.0 \pm 1.7 ^{abc}	Rojo
BT09E8R2	73.4 \pm 0.4 ^a	3.03 \pm 0.09 ^{bc}	24.0 \pm 0.8 ^{bc}	22.4 \pm 1.2 ^a	12.2 \pm 1.1 ^a	11.2 \pm 0.7 ^{ab}	80.0 \pm 1.4 ^{bcd}	8.5 \pm 0.6 ^a	1.6 \pm 0.1 ^a	3.3 \pm 0.1 ^{cd}	34.8 \pm 0.9 ^{ab}	Rojo
BT09T5	71.2 \pm 1.9 ^{ab}	2.96 \pm 0.08 ^{bc}	25.4 \pm 0.4 ^{ab}	19.2 \pm 1.1 ^{bc}	11.6 \pm 1.3 ^a	9.8 \pm 0.7 ^{bcd}	82.6 \pm 4.7 ^{abcd}	7.9 \pm 0.5 ^{ab}	1.6 \pm 0.1 ^{ab}	3.4 \pm 0.04 ^{bcd}	33.0 \pm 1.09 ^{abc}	Rojo
BT09T9R	73.4 \pm 0.4 ^a	2.90 \pm 0.05 ^c	22.4 \pm 1.2 ^c	19.2 \pm 1.7 ^{bc}	12.3 \pm 1.1 ^a	9.6 \pm 0.8 ^{cd}	76.4 \pm 3.6 ^d	6.9 \pm 0.5 ^{ab}	1.3 \pm 0.06 ^b	3.2 \pm 0.1 ^{cd}	34.4 \pm 1.6 ^{ab}	Rojo
BT09E1GB	70.6 \pm 1.6 ^{ab}	2.12 \pm 0.12 ^d	25.6 \pm 0.4 ^{ab}	14.2 \pm 0.7 ^d	11.1 \pm 0.9 ^a	8.6 \pm 0.4 ^d	74.4 \pm 4.3 ^d	6.6 \pm 0.7 ^b	1.4 \pm 0.2 ^{ab}	3.5 \pm 0.1 ^{abc}	28.2 \pm 0.7 ^d	Blanco
MEDIA	71.1 \pm 2.2	2.98 \pm 0.33	24.4 \pm 1.9	17.7 \pm 3.6	11.9 \pm 1.5	10.3 \pm 1.1	82.2 \pm 6.7	7.3 \pm 0.9	1.4 \pm 0.1	3.4 \pm 0.3	32.7 \pm 2.3	
DMS (0.05)	3.5	24.8	2.4	2.6	3.31	1.4	9.9	1.7	0.3	0.36	3	
C.V.	2.3	3.9	4.7	7.1	13.1	6.6	5.7	11.4	11.2	5	4.4	

a,b,c; Literales diferentes en columna denotan significancia estadística (Tukey; $p \leq 0.05$).

El promedio de la excursión de panoja de las diez líneas evaluadas fue de 17.7 cm, donde la línea BT09E8 R2 presentó la mayor longitud de excursión (22.4 cm), mientras que la línea BT09E8B presentó la menor longitud de excursión (12.8), [Rebollar-Ávila et al. \(2018\)](#) mencionaron que en siembras de fechas tardías y en condiciones de secano se ha observado que la longitud de la excursión casi duplica a la de riego, lo que indica que esta variable interactúa con el ambiente y es sensible a los cambios de humedad y temperatura, esto demuestra que es una variable con menos heredabilidad (84 %) que altura de planta (94 %) y longitud de raquis y ramas (93 %), resultados que concuerdan con lo reportado por [Brown et al. \(2006\)](#), quienes evaluaron 119 líneas recombinantes F9-F10, en tres ambientes de Texas (EE. UU), los cuales presentaron características de precipitación entre 36.1 a 72.6 cm.

Respecto a la variable grados Brix ($^{\circ}$ Brix) se puede observar en la Tabla 3 que no hubo diferencias significativas, sin embargo, la línea BT09T9B presentó los valores más altos (13.4 $^{\circ}$ Brix) y las líneas BT09E8AR y BT09E1GB presentaron los valores más bajos de $^{\circ}$ Brix 11.1. [Elangovan et al. \(2014\)](#) y [Yücel et al. \(2022\)](#) mencionan que para la selección de genotipos con buena producción de $^{\circ}$ Brix es fundamental que los sorgos presenten valores de azúcar en el jugo entre el 12.4 a 24 $^{\circ}$ Brix.

Respecto al número de hojas por planta se observaron diferencias significativas, donde la línea BT09E8B presentó los promedios más altos 12.4 hojas por planta, mientras que la línea BT09E1GB presentó la menor cantidad de hojas por planta 8.6. [Ávila-Pérez y Pérez-Zaldivar \(2017\)](#) en un estudio realizado bajo condiciones de temporal (350 mm de lluvia promedio durante el ciclo del cultivo) mencionan que el número de hojas puede variar según el cultivar y la longitud del periodo de crecimiento y estas pueden variar entre 7 y 24 hojas por planta, lo que indica que los materiales utilizados en el presente estudio se encuentran en un rango aceptable. [Martín y Rivera \(2004\)](#) mencionan que el número de hojas está condicionado por factores como las características del suelo, la humedad y fertilidad del mismo.

Para la variable longitud de la hoja se puede observar que la línea BT09E8 presentó la mayor longitud de hoja (92.2 cm) y las líneas BT09T9R y BT09E1GB presentaron las longitudes más bajas (76.4 y 74.4 cm, respectivamente), estos valores se encuentran por debajo del promedio general. Las longitudes encontradas en esta investigación son similares a las reportadas por [Ávila-Pérez y Pérez-Zaldivar \(2017\)](#) quienes encontraron longitudes de hasta 75 cm, y superiores a lo reportado por [Correa-Urquiza \(2001\)](#) quien reporta promedios de longitud de hoja entre 18 y 23 cm, además mencionan que el comportamiento del crecimiento foliar de las plantas de sorgo está sujeto a diferentes situaciones de estrés hídrico, siendo el alargamiento foliar uno de los parámetros más sensibles afectado por variaciones hídricas en la planta.

El ancho de las hojas presentó diferencias significativas entre las líneas de sorgo, obteniendo el valor más alto en la línea BT09E8 R2 con 8.5 cm, en ocho líneas no se encontraron diferencias significativas con valores que oscilan entre 6.6 y 7.9 cm, el valor más bajo lo presentó la línea BT09E1GB con 6.6 cm. Estos valores concuerdan con lo reportado por [Ávila-Pérez y Pérez-Zaldivar \(2017\)](#); [Martín y Rivera \(2004\)](#), quienes reportan valores entre 7.1 y 8.2 cm, y mencionan que esta variable es un indicador de gran importancia junto al largo de la hoja, ya que es en el área foliar de la planta donde se realiza la fotosíntesis y la cantidad de nutrientes con que dispondrá para su desarrollo.

En el análisis de varianza para la variable diámetro de tallo se puede observar que solo existe diferencia entre dos líneas de sorgo BT09E8 R2 con valores de 1.68 cm y la línea BT09T9B con los valores más bajos (1.2 cm). [Díaz et al. \(2007\)](#) reportaron diámetros de tallos entre 1.4 y 1.52 cm, estos contrastan con lo reportado por [Ávila-Pérez y Pérez Zaldivar \(2017\)](#) quienes reportan diámetros entre 0.41 y 0.97 cm, resultados obtenidos bajo el sistema de temporal durante el periodo de agosto a noviembre, donde presentaron precipitaciones acumuladas de 350 mm. Además, mencionan que la planta se regula en tiempo y espacio para tener un control sobre ella misma donde es influenciada

por las condiciones agroecológicas de producción en especial por el contenido de nutrientes y humedad.

La variable rendimiento de grano presentó diferencias significativas, donde se observaron rendimientos de grano promedio de 3.4 t ha^{-1} , la línea BT09T9B presentó el rendimiento promedio de grano más altos con 3.9 t ha^{-1} , además, esta línea presentó los mayores rendimientos de forraje verde (35 t ha^{-1}). En contraste la línea que presentó los rendimientos de grano más bajos fue BT09E1 GR (3.0 t ha^{-1}). El bajo rendimiento de grano de esta línea se puede atribuir a que fue la línea que presentó la menor longitud de panoja, por ende, menor cantidad de granos por panoja (Rebollar-Ávila *et al.*, 2018). Los rendimientos reportados en esta investigación concuerdan con lo reportado por Amores-Bravo *et al.* (2021), quienes evaluaron el comportamiento agronómico y productividad de cuatro genotipos de sorgo, los cuales presentaron rendimientos que oscilan entre las 2.3 y 3.3 t ha^{-1} . Jiménez-Cordero *et al.* (2016) reportan en líneas de sorgo mantenedoras de la fertilidad (progenitores) rendimientos de hasta 4 t ha^{-1} , los cuales concuerdan con los reportados en la presente investigación.

Villeda-Castillo *et al.* (2019) mencionan que el peso de grano depende del factor genético, así como la capacidad de la planta para almacenar materia seca, la masa seca y fresca de las semillas es poco influenciada por el ambiente y está ligada a los caracteres de la variedad, principalmente a la capacidad de trasladar nutrientes acumulados por la planta en etapa de desarrollo vegetativo hacia el grano (Martínez-Medina *et al.*, 2016).

Para la variable rendimiento de forraje verde se puede observar que la línea BT09T9B fue la que presentó el rendimiento más alto (35.2 t ha^{-1}) en contraste con la línea BT09E1GB la cual presentó rendimientos de 28.2 t ha^{-1} este bajo rendimiento se puede atribuir a que presenta la menor altura de planta, menor número de hojas, menor longitud y menor ancho de hojas. Rodríguez-Gómez *et al.* (2021) mencionan que un alto rendimiento de biomasa verde está influenciado por una mayor altura de planta, mayor número de hojas por planta, tal es el caso del presente trabajo donde la línea BT09T9B fue la que presentó las mejores características en las variables antes mencionadas.

Conclusiones

Se caracterizaron diez líneas avanzadas F7 de sorgo y con ello se obtuvo su identidad a partir de la metodología estandarizada en los descriptores de la UPOV.

En la mayoría de los descriptores cuantitativos de las líneas evaluadas se observó un comportamiento homogéneo, demostrado por sus coeficientes de variación menor a 10 %.

La línea BT09T9B presentó los mayores rendimientos de grano y de forraje (3.9 y 35.2 t ha^{-1} , respectivamente) por lo cual se estará considerando su trámite para registro como variedad comercial.

Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo (LGJA, VEFA, CME, HELA, PAMA, GGOG). Desarrollo de la metodología (LGJA). Manejo de software (LGJA). Validación experimental (LGJA). Análisis de resultados (LGJA). Manejo de datos (LGJA). Escritura y preparación del manuscrito (LGJA). Redacción, revisión y edición (LGJA, VEFA, CME, HELA, PAMA, GGOG). Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.

Financiamiento

Esta investigación no recibió financiamiento externo.

Declaraciones éticas

No aplica.

Declaración de consentimiento informado

No aplica.

Agradecimientos

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación, por la beca otorgada para realizar estudios de doctorado.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

- Amores-Bravo, B. D., Abasolo Pacheco, F., Reyes Pérez, J. J., Romero Mesa, R., Otacoma Yanes, J. C., & Bravo Salvatierra, J. (2021). Comportamiento agronómico y productivo de híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) en zonas agroecológicas de la Región costa del Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(3), 168-178. <https://www.sociotopen.societ.org/files/original/e4bcb89bce7557e3ca7aabb1491a7b2c.pdf>
- Afzal, M., Ahmad, A. & Ahmad, A. U. H. (2012). Effect of nitrogen on growth and yield of sorghum forage (*Sorghum bicolor* (L.) Moench CV) under three cuttings system. *Agronomical Research in Moldavia*, 45, 57-64. <https://repository.iuls.ro/items/ec9c4ba9-614b-49ec-81fd-2514729cd667>
- Amador, A. L. & Boschini, C. (2000). Calidad nutricional de la planta de sorgo negro forrajero (*Sorghum alnum*) para alimentación animal. *Agronomía Mesoamericana*, 11, 79-84. <https://www.redalyc.org/pdf/437/43711212.pdf>
- Ávila-Pérez, L. & Pérez-Zaldivar, J. C. (2017). Evaluación de cultivares de sorgo (*Sorghum Vulgares*, L. Moench) en la CCS "José Manuel Rodríguez" del Municipio Jesús Menéndez. *Revista Digital de Medio Ambiente* "Ojeando la agenda". ISSN:1989-6794, No. 47. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6007595>
- Brown, P. J., Klein, P. E., Bortiri, E., Acharya, C. B., Rooney, W. L. & Kresovich, S. (2006). Inheritance of inflorescence architecture in sorghum. *Theoretical and Applied Genetics*, 113, 931-942 <https://doi.org/10.1007/s00122-006-0352-9>
- Correa-Urquiza, A. (2001). El sorgo forrajero en producción animal. CREAs Zona Oeste, *Gacetilla Informativa* N° 166. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/maiz_sorgo/39-sorgo_forrajero_en_produccion_animal.pdf
- Díaz, M.R., Díaz F.A., Garza, C.I. & Ramírez, L.A. (2007). Brassinoesteroides e inoculación de micorriza arbuscular (*Glomus intraradices*) en el crecimiento y producción de sorgo en campo. *Terra Latinoamericana*. 25(1), 077-083. <https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/article/view/1441>
- Elangovan, M., Kiran-Babu, P., Seetharama, N., & Patil, J. V. (2014). Genetic diversity and heritability characters associated in sweet sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Sugar Tech*, 16(2), 200-210. <https://doi:10.1007/s12355-013-0262-5>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2025). Aspectos geográficos Sinaloa. [En línea]. <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=25#collapse-Resumen>
- Jiménez-Cordero, Á. A., Sánchez-Bello, V., Carranza-Chitica, J. I., & Padilla-García, J. M. (2016). Avances en la formación de líneas androestériles y mantenedoras de la esterilidad en sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuaria*. 3-8, 1-8. https://www.ecorfan.org/bolivia/rj_cnva_viii.php
- León-Velasco, H., Mendoza-Onofre, L. E., Castillo-González, F., Cervantes-Santana, T. & Martínez-garza, Á. (2009). Evaluación de dos generaciones de híbridos y progenitores de sorgo tolerantes al frío I: variabilidad genética y adaptabilidad. *Agrociencia*, 43(5), 483-496. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952009000500004
- Martín, G.M. & Rivera, R. (2004). Mineralización del nitrógeno de la *Canavalia ensiformis* en un suelo ferralítico rojo de la Habana. *Cultivos Tropicales*, 25(3), 83-88. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/497>
- Martínez-Medina, S. de J., Gómez-Kosky, R., Rodríguez-Valdés, G., Veitia-Rodríguez, N., Saucedo-Castillo, O. & Gil-Díaz, V. (2016). Caracterización morfoagronómica de plantas de sorgo granífero variedad CIAP 132R-05 regeneradas vía embriogénesis somática en condiciones de campo. *Centro Agrícola*, 43(3), 73-79. <https://ru.dgb.unam.mx/items/6f1c8c7d-1f83-45b2-bbc8-0f93bad9fd11>
- Moreno-Gallegos, T., López Guzmán, J. A., Gutiérrez Gutiérrez, O. G., Pérez Márquez, J., Cortez Mondaca, E. & Moreno Hernández, J. M. (2020). Guía para producir sorgo bajo sistema de riego y temporal en Sinaloa. *Folleto técnico* Núm. 68. diciembre de 2020. ISBN:978-607-37-1265-1.
- Murphy, R. L., Morishige, D. T., Brady, J. A., Rooney, W. L., Yang, S., Klein, P. E., & Mullet, J. E. (2014). Ghd7 (Ma6) represses sorghum flowering in long days: Ghd7 alleles enhance biomass accumulation and grain production. *The Plant Genome*, 7(2), <https://doi.org/10.3835/plantgenome2013.11.0040>

- Pandey, A.K., Venkatesh, B B., Balakrishna, D. & Seetharama, N. (2010). Genetic transformation of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *International Journal of Biotechnology and Biochemistry*, 6,45-53. https://www.researchgate.net/publication/242084434_Genetic_Transformation_of_Sorghum_Sorghum_bicolor_L_Moench
- Pérez, A., Saucedo, O., Iglesias, J., Wencomo, H, B., Reyes, F., Oquendo, G., & Milián, I. (2010). Caracterización y potencialidades del grano de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Pastos y Forrajes*, 33 (1), 1-26. <https://ru.dgb.unam.mx/items/cab89ce1-fb0a-45af-86f0-fa076235b11e>
- Prasad, S., Singh, A., Jain, N., & Joshi, H. C. (2007) Ethanol Production from Sweet Sorghum Syrup for Utilization as Automotive Fuel in India. *Energy Fuels*, 21(4), 2415-2420. <http://dx.doi.org/10.1021/ef060328z>
- Rebollar-Ávila, C., Mendoza-Onofre, L. E., Cisneros-López, M. E., Silva-Rojas, H. V., & Córdova-Télez, L. (2018). Caracterización y rendimiento de semilla de progenitores femeninos de híbridos simples y trilineales de sorgo. *Revista fitotecnia mexicana*, 41(4), 423-431. <https://revistafitotecniamexicana.org/41-4.html>
- Rendón, V., D. (1995). Culiacán: en el umbral de una imagen. H. Ayuntamiento de Culiacán, Coordinación General de Turismo del Estado de Sinaloa. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Culiacán, Sinaloa. 137 pp.
- Reyes-Rodríguez, E., Salem-Guevara, G., & Márquez Sánchez, R. (2017). Productividad de la red bovino en Tamaulipas. *El Economista*. <https://www.economista.com.mx/opinion/Productividad-de-la-red-bovino-en-Tamaulipas-l-20170403-0007.html>
- Rodríguez-Gómez, J. C., García-De los Santos, G., Hernández-Livera, A., & Hernández-Martínez, M. (2021). Evaluación agronómica de sorgos forrajeros en el Bajío, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(4), 687-691. <https://revistafitotecniamexicana.org/44-4.html>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA]. (2017, August 10). Sorgo grano mexicano. *Planeación Agrícola Nacional* 2017-2030. https://chrome-extension://efaidnbnmnibpcapqlclefndmkaj/https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256433/B_sico-Sorgo_Grano.pdf
- SAS Institute.(2006). Statistical Analysis System Release 9.3 ed. SAS Institute, Inc., Cary, NC.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2025). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/
- Sylvester, E.A., Z. Li-Min., X. Yan., Z. Yu-Miao., L. Zhi-Quan., & J. Hai-Chum. (2015). Sweet sorghum ideotypes: genetic improvement of the biofuel syndrome. *Food Energy Security*, 4:3-24. <https://doi.org/10.1002/fes3.63>
- UPOV [Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales]. (2015). https://www.upov.int/meetings/en/doc_details.jsp?meeting_id=35045&doc_id=295796
- Villeda-Castillo, D., Parada-Berrios, F., Lara-Ascencio, F., & Rodríguez-Urrutia, E. (2019). Caracterización morfoagronómica de 15 accesiones de sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench.) con bajo contenido de lignina. *Revista Agrociencia*, 3(13), 17-32. <https://www.agronomia.ues.edu.sv/agrociencia/index.php/agrociencia/article/view/148>
- Williams-Alanís, H., Aranda-Lara, U., Arcos-Cavazos, G., Elizondo-Barrón, J., Zavala-García, F., López-Guzmán, J. A., Moreno-Gallegos, T., & Estrada-Virgen, M.O. (2025). Características Agronómicas y estabilidad en la producción de bioetanol de sorgo dulce en el Noreste de México. *Revista Bio Ciencias*, 12 e1774. <https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1774>
- Williams-Alanís, H., Aranda-Lara, U., Arcos-Cavazos, G., Zavala-García, F., Galicia-Juárez, M., Rodríguez-Vázquez M. C. & Elizondo-Barrón, J. (2022). Análisis línea x probador para estimar la aptitud combinatoria en sorgo de grano (*Sorghum bicolor* L.). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo*, 54, (2), 12-21. ISSN (en línea) 1853-8665. <https://doi.org/10.48162/rev.39.078>
- Williams-Alanís, H., Aranda-Lara, U., Arcos-Cavazos, G. Zavala-García, F., Rodríguez-Vázquez, M. C. & Olivares-Sáenz, E. (2021). Potencial productivo de variedades experimentales de sorgo blanco para el sur de Tamaulipas. *Nova scientia*, 13(26). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052021000100108
- Williams-Alanís, H., Zavala-García, F., Arcos-Cavazos, G., Rodríguez-Vázquez, M. C., & Olivares-Sáenz, E. (2017). Características agronómicas asociadas a la producción de bioetanol en genotipos de sorgo dulce. *Agronomía Mesoamericana*, 28, 549-563.: <http://dx.doi.org/10.15517/ma.v28i3.26690>
- Yücel, C., Yücel, D., Hatipoğlu, R. & Dweikat, I. (2022). Research on the potential of some sweet sorghum genotypes as bioethanol source under Mediterranean conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 46(2), 141-151. <https://doi.org/10.55730/1300-011X.2966>