

Potencial productivo de variedades experimentales de sorgo blanco para el sur de Tamaulipas

Productive potential of experimental white sorghum varieties for south Tamaulipas

Héctor Williams-Alanís ¹  <https://orcid.org/0000-0002-7342-4723>

Ulises Aranda-Lara ¹  <https://orcid.org/0000-0003-2885-5599>

Gerardo Arcos-Cavazos ²  <https://orcid.org/0000-0002-6491-1538>

Francisco Zavala-García ³  <https://orcid.org/0000-0001-5421-1231>

María del Carmen Rodríguez-Vázquez ³  <https://orcid.org/0000-0003-1003-9614>

Emilio Olivares-Sáenz ³  <https://orcid.org/0000-0003-1881-0186>

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)

✉ aranda.ulises@inifap.gob.mx

² Ex-Investigador. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).
Campo Experimental Huastecas

³ Universidad Autónoma de Nuevo León, (UANL), Facultad de Agronomía
© Universidad De La Salle Bajío (México)

Recibido en: 17 – 09 – 2020 / Aceptado en: 16 – 11 – 2020

Resumen

Introducción: En México el cultivo de sorgo ocupa el tercer lugar en superficie sembrada después del maíz y frijol. Tamaulipas es el principal estado productor de sorgo, donde se siembra en promedio 895 mil hectáreas y se producen dos millones 383 mil toneladas anuales; sin embargo, esta zona presenta el problema de dependencia de semilla para siembra importada y cara. El objetivo del presente trabajo fue determinar el potencial productivo y estabilidad, de un grupo de variedades experimentales derivadas de la cruce de RB-Paloma x Fortuna.

Método: Se evaluaron 14 variedades experimentales, durante los años 2013 a 2017, en tres ambientes de riego y uno de seco. Los testigos fueron las variedades comerciales que les dieron origen a las variedades experimentales: RB-Paloma y Fortuna. El sitio de evaluación fue la estación Cuauhtémoc, Altamira, Tamaulipas, perteneciente al INIFAP. Se aplicó el diseño experimental bloques completos al azar con tres repeticiones. El modelo GGE biplot se usó para el análisis de estabilidad fenotípica para rendimiento de grano.

Resultados: En los cuatro ambientes de evaluación la variedad experimental 196-2 presentó un rendimiento de grano promedio ($p \leq 0,05$) de 3,533 kg ha⁻¹, similar al de RB-Paloma (2,955 kg ha⁻¹) y superior al de Fortuna (2,494 kg ha⁻¹) en 41.7 %. Además, esta variedad fue más precoz a la

floración (74.1 días) que Fortuna (84.3 días). Los parámetros de estabilidad indicaron que 196-2 presentó alto rendimiento medio de grano, estabilidad y mejor respuesta en los ambientes. Las variedades experimentales 197-2 y 206-1 presentaron un buen rendimiento medio de grano y estabilidad, además de un rendimiento de biomasa fresca ($p \leq 0,05$) de 27,822 y 27,914 kg ha⁻¹ respectivamente, similar al de Fortuna (28,541 kg ha⁻¹) y superior al de RB-Paloma (18,419 kg ha⁻¹) en 55 %; además, fueron más precoces a la floración (77 y 75.3 días, respectivamente) que Fortuna. La variedad 197-2 fue más tolerante a enfermedades foliares que RB-Paloma.

Discusión o Conclusión: Las variedades experimentales 196-2, 197-2 y 206-1 presentaron características agronómicas sobresalientes para la región sur de Tamaulipas.

Palabras clave: *Sorghum bicolor*; mejoramiento genético; estabilidad; rendimiento grano; biomasa fresca; Huasteca; huasteca potosina; granos; variedades de riego; estabilidad fenotípica

Abstract

Introduction: In Mexico, sorghum ranks third in area planted after maize and beans. Tamaulipas is the main sorghum producing state, where an average of 895 thousand hectares are planted and two million 383 thousand tons are produced annually. However, this area presents a dependency problem because seeds are imported and expensive. The objective of this work was to determine the productive potential and stability of an experimental varieties group derived from the crossing of RB-Paloma x Fortuna.

Method: 14 experimental varieties were evaluated from 2013 to 2017, in three irrigated environments and one on dryland. The controls were the commercial varieties that gave rise to the experimental varieties: RB-Paloma and Fortuna. The study was conducted in the Cuauhtémoc Experimental Station of INIFAP in Altamira, Tamaulipas. The experimental design was completely randomized blocks with three replicates. The GGE biplot model was used for phenotypic stability analysis for grain yield.

Results: The experimental variety 196-2, presented an average grain yield ($p \leq 0.05$) of 3,533 kg ha⁻¹, it was similar to RB-Paloma (2,955 kg ha⁻¹) and superior to Fortuna (2,494 kg ha⁻¹) in 41.7 %. In addition, this variety was earlier to bloom (74.1 days) than Fortuna (84.3 days). The Parameters stability indicated that variety 196-2 presented high grain yield, stability and better response to environment. The experimental varieties 197-2 and 206-1 presented a good average grain yield and stability, in addition to a fresh biomass yield ($p \leq 0.05$) of 27.822 and 27.914 kg ha⁻¹ respectively,

which was equal to that of Fortuna (28,541 kg ha⁻¹) and higher than that of RB-Paloma (18,419 kg ha⁻¹) by 55%. They were earlier to flowering 77 and 75.3 days respectively than Fortuna. The variety 197-2 had lower disease incidence than RB-Paloma.

Discussion or Conclusion: The experimental varieties 196-2, 197-2 and 206-1 presented the better agronomic characteristics for the southern region of Tamaulipas.

Keywords: *Sorghum bicolor*; genetic improvement; stability; grain yield; fresh biomass; Huasteca; huasteca potosina; grain; irrigation varieties; phenotypic stability

Introducción

En México el cultivo de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] se ubica en el tercer lugar, en cuanto a superficie sembrada después del maíz [*Zea mays* (L.)] y frijol [*Phaseolus vulgaris* (L.)] y el segundo en cuanto a producción de grano después del maíz (Soltero-Díaz *et al.*, 2005). El estado de Tamaulipas es el principal productor de sorgo, donde se siembra en promedio 895 mil hectáreas y se producen dos millones 383 mil toneladas anuales (SIAP, 2017); esta producción satisface el 60 % de los requerimientos nacionales; el resto se importa de los Estados Unidos (SAGARPA, 2015). La mayor parte de la producción se utiliza para la elaborar alimentos balanceados de consumo pecuario. Además, Tamaulipas es uno de los principales estados ganaderos del país (Reyes-Rodríguez, 2017).

En el sur de Tamaulipas se siembran anualmente cerca de 100 mil hectáreas de sorgo, con una producción de 250 mil toneladas de grano y la totalidad del forraje se aprovecha para la alimentación del ganado. Sin embargo, en esa región no existen variedades mexicanas de sorgo, para condiciones de riego y temporal, con buena producción de grano y forraje y tolerantes a enfermedades (Williams & Arcos, 2015), pues la semilla para siembra disponible es de híbridos por lo que su costo es alto y la mayoría se importa (Williams *et al.*, 2006, Flores-Naveda *et al.*, 2013). Se estima que en esa superficie (100 mil ha) se utilizan 570 toneladas de semilla importada, lo que representa un costo aproximado de 65 millones de pesos, equivalente en al año 2020 a 2.5 millones de dólares anuales.

El disponer de semilla de variedades mexicanas presenta la ventaja que los empleos producidos por esta actividad se generarían en México, y se disminuiría la fuga de divisas. Además, una opción para reducir los costos de producción del cultivo, es mediante la utilización de

variedades de polinización libre, ya que su semilla es más fácil de producir, es más barata que la de los híbridos y los mismos productores pueden multiplicarla (Flores-Naveda *et al.*, 2012; Hernández-Espinal & Moreno-Gallegos, 2014).

El International Crops Research Institute for the Semiarid Tropics (ICRISAT,1992) empezó a trabajar en México a partir del año 1978, mediante la introducción de germoplasma de sorgo, principalmente con materiales de grano de color blanco, apto para la producción de grano y forraje y apropiado para para consumo humano, del cual se han obtenido numerosas variedades de polinización libre, entre las cuales se encuentran RB-Paloma y Fortuna.

Los objetivos del presente trabajo fueron evaluar el potencial productivo y la estabilidad del rendimiento de 16 variedades experimentales de sorgo blanco, en cuatro ambientes,

Método

El programa de mejoramiento genético que dio origen a estas variedades experimentales se llevó a cabo en la Estación Experimental Marín, N. L., de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FAUANL), donde en el ciclo primavera 2012 se realizó la cruza manual entre las variedades comerciales RB-Paloma y Fortuna, las cuales, presentan características agronómicas sobresalientes para la región sur de Tamaulipas.

RB-Paloma, generada en el Campo Experimental Río Bravo (INIFAP), se evaluó en el sur de Tamaulipas, durante los años 2005 a 2007, en condiciones de riego, donde superó en al menos 31% (1112 kg ha^{-1}) a variedades de polinización libre y grano blanco como Perla 101, Costeño 201 y Mazatlán 16; y en 10 % (435 kg ha^{-1}) al promedio de los híbridos testigos comerciales Asgrow Ámbar y RB 3030. Además, mostró 25 % menor incidencia de enfermedades foliares y presentó tolerancia al cornezuelo o ergot (*Claviceps africana* Frederickson, Mantle and de Milliano) y antracnosis (*Colletotrichum graminicola* (Ces.) Wilson). (Montes *et al.*, 2012), pero susceptibilidad a la pudrición carbonosa del tallo *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid (Williams *et al.*, 2009).

La variedad Fortuna fue liberada por el Campo Experimental Tecomán, Colima (INIFAP). Presenta plantas con hojas anchas, grano de color blanco y altura de planta uniforme. En la Planicie Huasteca, mostró buena aceptación por el ganado, elevada producción de forraje, de buena calidad nutricional, y su siembra y cosecha pueden mecanizarse (González *et al.*, 2009). En el año 2007 en Las Huastecas se evaluó las variedades Fortuna y M-81E en tres fechas de siembra durante los

meses de octubre, noviembre y diciembre. De acuerdo con Valadez *et al.*, (2011) Fortuna presentó el valor promedio más alto de peso de biomasa con 46 t ha⁻¹ en comparación de 22 t ha⁻¹ para M81E. Como ventaja adicional resultó tolerante a *M. phaseolina* (Moreno-Gallegos *et al.*, 2017). En la generación F2 se realizó la selección visual de las plantas que tuvieron las mejores características agronómicas, con base en la duración del ciclo vegetativo, altura de planta, sanidad y espigas grandes con alto volumen de producción de grano. Posteriormente, en las generaciones F3, F4 y F5 se sembró una panoja por surco de las plantas seleccionadas, y se autofecundaron entre 10 a 15 plantas por surco, seleccionando las más parecidas entre sí, para uniformizarlas. En cada ciclo de selección, la semilla se cosechó, trilló y mezcló. Como resultado se obtuvo un grupo de 14 variedades experimentales uniformes y estables.

Ambientes de evaluación

Las evaluaciones se efectuaron en el Campo Experimental las Huastecas del INIFAP, que se ubica en Estación Cuauhtémoc, municipio de Altamira, Tamaulipas, México (22° 33' N/ 98° 09' O, 20 m de altitud); clima (Aw0) cálido subhúmedo con lluvias en verano y lluvia invernal de 5-10 %, del total anual (García, 1988), temperatura promedio anual de 24.5 °C y de 842 mm de precipitación (INIFAP, 2015). El suelo es de tipo vertisol pélico arcillosos y profundo, con un pH de 7.5 a 7.8. Los ambientes de evaluación correspondieron a cuatro experimentos que se establecieron en los ciclos otoño-invierno 2013-2014 (O-I 13-14), fecha de siembra 21 de enero con tres riegos; primavera-verano 2015 (P-V 15), fecha de siembra 21 de agosto, temporal; otoño-invierno 2015-2016 (O-I 15-16), fecha de siembra 28 de enero, cuatro riegos y otoño-invierno 2016-2017 (O-I 16-17), fecha de siembra 31 de enero, dos riegos, respectivamente. En cada experimento las 14 variedades (designadas como 195-1, 195-2, 195-3, 196-1, 196-2, 196-3, 197-1, 197-2, 199-1, 200-1, 206-1, 208-1 y 208-2) más los dos progenitores (testigos) se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones

El tamaño de la parcela fue de un surco de 5 m de longitud con separación entre surcos de 0.80 m. La siembra se hizo en tierra húmeda, la semilla se aplicó manualmente a chorrillo en el fondo del surco. En los cuatro ambientes se aplicó la dosis de fertilización 90-40-00, la mitad de N y todo el P₂O₅ en la siembra y el resto del N a los 15 días después de la siembra. A los 20 días después de la emergencia de plántulas se realizó un aclareo para dejar una población de 250,000 plantas ha⁻¹. Para el control de malezas, se realizaron tres escardas a los 10, 20 y 25 días después

de la emergencia. Las plagas que se presentaron fueron: pulgón amarillo *Melanaphis saachari* (Zehntner) y mosquita del sorgo *Contarinia sorghicola* (Coquillet). Para el control de la primera se aplicó Clorpirifos (fosforotioato) 45.5 %, con una dosis de 1 Lha⁻¹ y para la segunda Toreto (Sulfoxaflor) 21.8 % en dosis de 0.06 Lha⁻¹.

Toma de datos

Las variables que se registraron fueron rendimiento de grano (kg ha⁻¹, REN, al 12 % de humedad), peso específico del grano (PEG, g L⁻¹) días a floración (DF, al 50 % de las plantas); una semana antes de la madurez fisiológica del grano, se midieron altura de planta (AP, en cm, desde el suelo hasta el ápice de la panoja), longitud de panoja (LP, en cm, de la base al ápice), y longitud de excursión (LEX, en cm, de la lígula de la hoja bandera a la base de la panoja).

La incidencia de enfermedades foliares (IEF) y acame (A), se evaluaron en forma visual mediante una escala de 1 al 5, de acuerdo con House (1985). En la primera, con base en el porcentaje de daño: 1, sin daño; 2, de 1 a 10 %; 3, de 11 a 25 %; 4, de 26 a 40 %; y 5, más de 41 %. Para acame, según el porcentaje de plantas acamadas: 1, 10 %; 2, de 10 a 25 %; 3, de 25-50 %; 4 de 50-75 %; y 5, más de 75%. En los experimentos sembrados en los ciclos O-I 15-16 y O-I 16-17 se cortaron todas las plantas de un metro lineal, a 5 cm de la base del suelo, para pesar y registrar el peso fresco de biomasa (PFB, kg ha⁻¹).

Análisis estadístico

El efecto del ambiente y de las variedades en el rendimiento y las características agronómicas se cuantificó mediante un análisis de varianza combinado con los datos de cuatro experimentos (ambientes) y las 16 variedades. Las comparaciones de medias para las características agronómicas, se realizaron por medio de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). La interpretación de la interacción IGA se realizó mediante el análisis de dispersión gráfica basado en el análisis de componentes principales (CP) con el modelo GGEbiplot (Yan *et al.*, 2000). El análisis de varianza se realizó con el sistema SAS (SAS, 2006) mientras que para el modelo GGEbiplot y la prueba de Gollob (1968) se utilizó el programa GEA-R (Pacheco *et al.*, 2015).

Resultados y Discusión

Ambientes

En la prueba de medias por ambiente los valores más altos para rendimiento de grano, días a floración y longitud de panoja (**Tabla 1**) se encontraron en el ciclo O-I 13-14; para altura de planta, en O-I 13-14 y O-I 16-17; para incidencia de enfermedades foliares, en O-I 13-14 y O-I 16-17; para peso específico de grano, en O-I 15-16, y en acame no se encontraron diferencias significativas entre ambientes.

Tabla 1. Comparación de medias de 16 genotipos de sorgo, evaluados en los años 2013 a 2017, en Estación Cuauhtémoc (Campo Experimental Huastecas-INIFAP).

Table 1. Means comparison of 16 sorghum genotypes, evaluated from 2013 to 2017, in the Cuauhtémoc Experimental Station (Campo Experimental Huastecas-INIFAP).

Características	Ambientes (Ciclos agrícolas)			
	O-I 13-14	P-V 2015	O-I 15-16	O-I 16-17
REN	4,262a	2,234c	3,346b	1,734d
PFB	*	*	25,415a	18,097b
DF	83.0a	68.7d	81.5b	74.5c
AP	171a	154c	165b	170a
IEF	2.5a	1.9b	2.2b	2.3a
LEX	13.3b	12.8bc	11.2c	18.9a
LP	26.7a	25.5b	25.3b	23.4c
PEG	729b	732b	779a	742ab
A	1.0a	1.0a	1.3a	1.0a

* No se obtuvo información. REN: rendimiento grano (kg ha^{-1}); PEG: peso específico del grano (g L^{-1}); PFB: peso fresco de biomasa (kg ha^{-1}); DF: días a floración; AP: altura de planta (cm); LP: longitud de panoja (cm); IEF: incidencia de enfermedades foliares; LEX: longitud de excersión (cm); y A: acame; se calificaron en forma visual de menor a mayor, mediante una escala de 1 al 5. Valores seguidos por letras distintas en la misma hilera son significativamente distintos (Tukey, $p \leq 0.05$).

* No information was obtained. REN: grain yield (kg ha^{-1}); PEG: specific gravity of grain (g L^{-1}); PFB: biomass yield (kg ha^{-1}); DF: days to flowering; AP: plant height (cm); LP: panicle length (cm); IEF: disease incidence; LEX: panicle peduncle length (cm); and A: stem lodging; used visually score from lowest to highest on a scale of 1 to 5. Different letters in each trait and within the same group denote statistical significance (Tukey $p \leq 0.05$).

La influencia del contenido de humedad del suelo en el rendimiento de grano, la floración y la longitud de la panoja fueron evidentes pues los valores más bajos del rendimiento de grano en O-I 16-17 y P-V 2015 en relación a O-I 13-14 y O-I 15-16, se atribuyen a que en el primer ambiente se aplicaron dos riegos y el segundo fue de secano; en cambio, en los últimos dos ambientes se aplicaron tres y cuatro riegos de auxilio, respectivamente. De manera similar, el peso fresco de biomasa fue mayor en O-I 15-16 respecto a O-I 16-17, pues en el primer caso se aplicaron cuatro riegos y dos en el segundo. En cuanto a la influencia de la temperatura, las diferencias significativas observadas en la floración entre O-I 13-14 (83 días), O-I 15-16 (81.5 días), O-I 16-17 (74.5 días) y P-V 2015 (68.7 días), se atribuyen a que las temperaturas medias que se registraron de la siembra

a la floración, fueron 19.9°C, 21.30°C, 22.1°C y 27.2°C, respectivamente, lo que indica que cuando las temperaturas son más frías, la floración es más tardía, pues el sorgo es una especie de origen tropical y requiere temperaturas altas para su desarrollo normal, por lo que es más sensible a las bajas temperaturas que otros cultivos (FORRATEC, 2017). Destaca que en ningún ambiente hubo condiciones climáticas críticas (vientos y lluvias fuertes) que provocara acame.

Variedades

Trece de las 14 variedades experimentales y RB-Paloma constituyeron el grupo superior en rendimiento de grano. Destaca que la variedad experimental 196-2 superó al testigo Fortuna en 41.7 % y a la variedad 197-1 (2102) en 68 %. Siete variedades y Fortuna presentaron entre 42 y 60 % más forraje fresco que RB-Paloma y las demás variedades experimentales (**Tabla 2**).

Tabla 2. Medias de características agronómicas de variedades experimentales de sorgo blanco evaluadas durante los años 2013 a 2017, en Estación Cuauhtémoc (Campo Experimental Huastecas-INIFAP).

Table 2. Agronomic trait means of experimental varieties of white sorghum evaluated from 2013 to 2017, in the Cuauhtémoc Experimental Station (Campo Experimental Huastecas-INIFAP).

Variedad	REN	PFB	DF	AP	IEF	LEX	LP
196-2	3,533a	20,007abcde	74.1efg	168cde	2.28abc	14.4bcde	23.9a
196-3	3,197ab	21,493abcde	76.7d	175bc	2.35ab	17.7abcd	25.1a
199-1	3,169ab	17,913de	75.5def	155def	1.91bc	7.4e	24.5a
195-2	3,129ab	19,300bcde	80.0bc	152ef	2.36ab	10.6de	25.6a
206-1	3,092ab	27,914a	75.3def	152ef	2.33abc	12.0cde	24.5a
195-3	3,026ab	16,185e	77.9bcd	150efg	2.41ab	11.3de	27.6a
197-2	2,959abc	27,822ab	77.0d	195a	2.08bc	18.9abc	24.0a
RB-Paloma (T)	2,955ab	18,419cde	69.7h	159cde	2.65a	20.1ab	25.4a
208-1	2,927abc	26,816ab	76.0de	191ab	2.31abc	19.3abc	26.3a
195-1	2,921abc	17,215de	77.1cd	131g	2.34ab	8.7e	26.8a
196-1	2,793abc	16,992de	72.9fg	158cde	2.38ab	17.0abcd	23.3a
200-1	2,781abc	19,656abcde	76.0de	137fg	2.11abc	9.3e	24.7a
201-1	2,757abc	17,695de	76.4de	151ef	2.22abc	12.5cde	23.9a
Fortuna (T)	2,494bc	28,541a	84.3a	174bcd	1.99bc	10.5de	23.9a
208-2	2,472ab	26,814abc	80.0b	197a	2.14abc	23.7a	26.1a
197-1	2,102c	25,342abcd	84.4a	196a	1.77c	11.7cde	26.9a
Media	2,743	21,759	76.8	170	2.06	14.1	25.2
CV %	23.6	18.4	2.6	8.1	20.0	37.4	12.3

REN: rendimiento grano (kg ha⁻¹); PFB: peso fresco de biomasa (kg ha⁻¹); DF: días a floración; AP: altura de planta (cm); LP: longitud de panoja (cm); IEF: incidencia de enfermedades foliares; y LEX: longitud de excersión (cm); la calificación de IEF fue visual de menor a mayor incidencia de enfermedades foliares en una escala de 1 al 5, donde 1 es una parcela con plantas sanas, y 5 es una parcela con alta incidencia de enfermedades. CV: coeficiente de variación; (T): testigos. Valores seguidos por letras distintas en la misma columna son significativamente distintos (Tukey p≤0.05).

REN: grain yield (kg ha⁻¹); PFB: biomass yield (kg ha⁻¹); DF: days to flowering; AP: Plant height (cm); LP: panicle length (cm); IEF: disease incidence; and LEX: panicle peduncle length. The disease incidence score on a scale of 1 to 5, where 1 is for a plot with healthy plants and 5 is a plot severely diseased. CV: coefficient of variation. (T): Controls. Different letter(s) in each trait and within the same group denote statistical significance (Tukey p≤0.05).

RB-Paloma fue liberada para la producción de grano y forraje (Montes *et al.*, 2012). En el presente trabajo Fortuna presentó mayor PFB que RB-Paloma. Además, se observó, como es de esperarse, que las variedades que presentaron mayor PFB, fueron las de mayor altura de planta, acorde con Pérez Hernández *et al.* (2018), quienes obtuvieron una correlación positiva entre AP y PFB.

RB-Paloma fue la variedad de floración más precoz. Se ha indicado que las variedades precoces producen menores rendimientos, debido a que se reduce su periodo de crecimiento (House, 1985). En este sentido, Rooney (2004) afirma que, en los ambientes favorables el rendimiento de grano se relaciona con un ciclo vegetativo mayor. En el presente estudio, las variedades más tardías (Fortuna y 197-1) tendieron a producir mayor PFB, lo que coincide con Zhang y Wang (2015), quienes encontraron que los genotipos tardíos presentaron mayor producción de forraje, en condiciones de buena humedad, las variedades tardías tienen mayor tiempo de fotosintetizar y almacenar nutrientes, para generar mayor producción de grano y forraje.

En las variedades experimentales la altura de planta varió entre 131 y 197 cm, mientras que la de RB-Paloma fue 159 cm y la de Fortuna, 174 cm. Lo anterior indica que en las generaciones segregantes de la cruce de RB-Paloma x Fortuna, se incrementó el abanico de variabilidad genética y aumentó la posibilidad de seleccionar genotipos diferentes. Se reporta que la relación entre AP y REN en ambientes favorables es positiva y consistente, y en ambientes de estrés es positiva y no consistente, aunque se aumenta la susceptibilidad al acame (Rooney, 2004). Al respecto, Ezeaku y Mohammed (2006), Sarvari y Behesthi (2012) y Williams y Arcos (2015), encontraron una correlación positiva entre AP y REN. Por lo anterior, se considera que es deseable seleccionar variedades más altas, resistentes al acame y evitar que su mayor altura sea impedimento para la cosecha mecánica. Se ha reportado que los sorgos más altos tienden a producir mayor rendimiento de grano, debido a que su área fotosintética es mayor (Doggett, 1967).

En los cuatro experimentos hubo incidencia de tizón de la hoja (*Helminthosporium turcicum* (Pass.) Leo and Suggs), antracnosis (*C. graminicola*), mancha zonada (*Gleocercospora sorghi* D. Bain & Edg) y roya (*Puccinia purpurea* Cooke). Las enfermedades foliares son un problema importante en el cultivo de sorgo en el sur de Tamaulipas (Williams *et al.*, 2017), ya que su presencia puede inducir el acame (McBee y Miller, 1990). Montes *et al.*, (2012) encontraron que RB-Paloma es tolerante a IEF. En este trabajo RB-Paloma fue más susceptible (2.65) a foliares que Fortuna (1.99). Por la tolerancia que presentó Fortuna para IEF, se asume que es una buena opción como fuente para realizar mejoramiento genético para enfermedades foliares, razonamiento que

coincide con Moreno-Gallegos *et al.* (2017), quienes encontraron que Fortuna resultó tolerante a pudrición carbonosa del tallo *M phaseolina*. Rooney (2004), Khawaja *et al.*, (2014), García-León *et al.*, (2018) indican que el mejoramiento genético para resistencia a enfermedades es el método más exitoso y económico para el combate de patógenos, además de lograr un mayor aumento y estabilidad en la producción (Reddy *et al.*, 2006, Rooney, 2004). La excersión facilita la cosecha mecánica y ayuda a obtener un grano limpio de la tolva, con un mínimo de impurezas. House (1985) indica que un sorgo de buena excersión es aquel que presenta más de 10 cm de longitud. En el presente estudio la mayoría de los genotipos presentaron buena excersión, excepto las variedades 199-1, 195-1 y 200-1.

No se presentaron diferencias significativas entre variedades para longitud de panoja (**Tabla 2**), variando éstas entre 23.3 y 27.9 cm. House (1985) indica que los valores de longitud de panoja en sorgo varían entre 4 a más de 25 cm, por lo que las variedades experimentales y testigos del presente estudio pueden clasificarse de panoja larga. En el presente trabajo no se presentaron condiciones favorables para que se presentara el acame.

Interacción Genotipo Ambiente

En la **Tabla 3** se muestra el resultado de la interacción genotipo ambiente por el modelo GGE biplot para la variable rendimiento en cuatro ambientes. El modelo explicó el 95.73 % de la interacción genotipo ambiente lo que justifica la aplicación de GGE biplot para la evaluación de variedades a través de ambientes ya que un valor aceptable es una proporción mayor a 75 % (Rodríguez *et al.*, 2005).

Tabla 3. Descomposición de la interacción genotipo ambiente mediante el análisis de componentes principales (CP) y pruebas de significancia.**Table 3.** Decomposition of the genotype environment interaction by the analysis of principal components (CP) and significance tests.

FV	GL	SC	CM	% SS
AMB	3	185214696.1	61738232.0 **	76.25
REP(AMB)	8	7786332.4	973291.5	
VAR	15	20451555.4	1363437.0 **	8.42
AMB*VAR	45	37190745.7	826461.0 **	15.31
CP1	27	27.10		72.3
CP2	15	7.62		20.4
CP3	13	2.47		6.6
Error	120	50169199.7	418076.7	
Total	191	300812529.2		

** $p \leq 0.01$. AMB: ambiente; VAR: variedad; REP: repeticiones; FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrados medios; %SS: porcentaje explicado; CP: componente principal.

** $p \leq 0.01$. AMB: environment; VAR: variety; REP: replicates; FV: variation sources; GL: degrees of freedom; SC: sum of squares; CM: mean squares; %SS: percent explained; CP: principal components.

En la **Fig. 1** se muestran los círculos concéntricos que ayudan a visualizar la longitud de los vectores ambientes y su ángulo con el eje denominado AEA (la recta que pasa por el origen del biplot y el ambiente medio). El pequeño círculo, en cuyo centro va la dirección de la flecha, representa al “ambiente medio” y se obtiene al promediar las coordenadas de todos los entornos de prueba (Tirado-Soto *et al.*, 2019). Yan y Tinker (2006), Frutos *et al.* (2014) indican que los ambientes de prueba que forman un ángulo más pequeño (agudo) con el eje AEA son más representativos que el resto de los ambientes de prueba. De acuerdo al análisis realizado, los ambientes de prueba más representativos fueron O-I 13-14 y O-I 15-16, mientras que P-V 2015 y O-I 16-17 fueron los menos representativos.

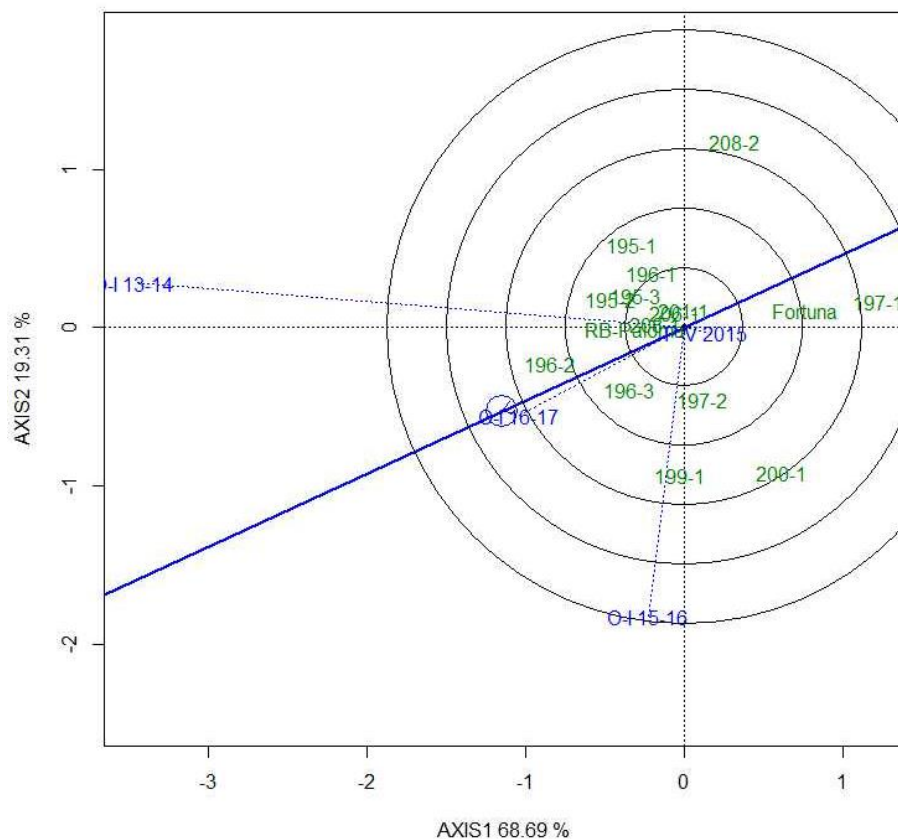


Fig. 1. Plano de Genotipo y Genotipo x Ambiente (GGE biplot) que indica la representatividad de cuatro ambientes de evaluación de estabilidad de 16 variedades de sorgo blanco.

Fig. 1. Genotype and Genotype x Environment graphic (GGE biplot) that indicates the representativeness of four environments for stability evaluation of 16 varieties of white sorghum.

La **Fig. 2** permite saber el rendimiento medio y la estabilidad de las variedades. Las variedades 196-2, 196-3, 195-2 y 199-1 tuvieron el mejor rendimiento medio. La estabilidad de los genotipos se representa de forma perpendicular (eje de las ordenadas) y los vectores de mayor longitud indican mayor interacción. La variedad 196-2 tuvo un mayor rendimiento medio y estabilidad en los ambientes evaluados, seguido de 196-3, 195-2 y 199-1, mientras que las variedades 201-1 y 206-1 fueron estables con un menor rendimiento medio, según el modelo GGE biplot (Frutos *et al.*, 2014). Las variedades 196-3, 206-1, 197-2, 208-1 además de presentar un buen rendimiento medio y buena estabilidad obtuvieron buenos rendimientos de PFB. Para evaluar la estabilidad versus el rendimiento promedio, la recta representada con una flecha que pasa por el origen del biplot (eje de las abscisas) indica el rendimiento promedio de los genotipos a través de ambientes (Yan y Tinker, 2006, Frutos *et al.*, 2014, Martínez-Sánchez *et al.*, 2018; Tirado-Soto *et al.*, 2019).

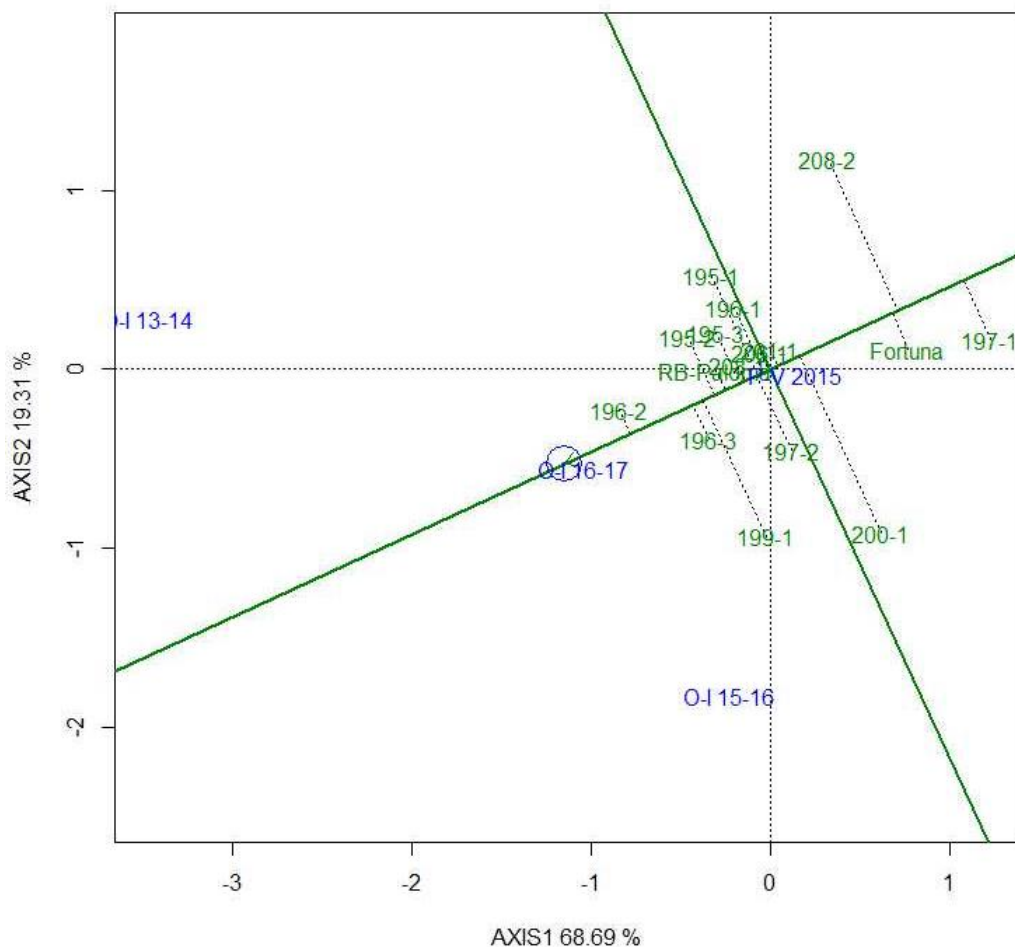


Fig. 2. Estabilidad de 16 variedades de sorgo blanco evaluados en 4 ambientes, representados en el Plano de Genotipo y Genotipo x Ambiente (GGE biplot), indicando el ordenamiento de variedades basados en el rendimiento medio y estabilidad obtenido para cada ambiente.

Fig. 2. Stability of 16 varieties of white sorghum evaluated in 4 environments, represented in the Genotype and Genotype x Environment graphic (GGE biplot), indicating the ordering of varieties based on the average yield and stability obtained for each environment.

En la **Fig. 3** se muestra el biplot y el patrón (Variedades de mayor rendimiento considerando ambientes-Qué variedad ganó y dónde) con un polígono con seis lados formado por la unión de las variedades 195-1, 196-2, 199-1, 200-1, 197-1, 208-2. Estos que están más alejados del origen y tiene los vectores más largos que es la medida de la capacidad de respuesta a los ambientes en sus direcciones respectivas. Las variedades que se localizan en los vértices también son aquellas con mayor y menor rendimiento en los ambientes. La variedad de mejor respuesta fue la variedad 196-2 la cual fue variedad vértices debido a que está en la misma dirección de los ambientes. Las variedades 195-1, 197-1, 200-1, 208-2 fueron las de menor respuesta, debido a que están en una dirección opuesta a los ambientes. (Yan y Tinker, 2006; Frutos *et al.*, 2014).

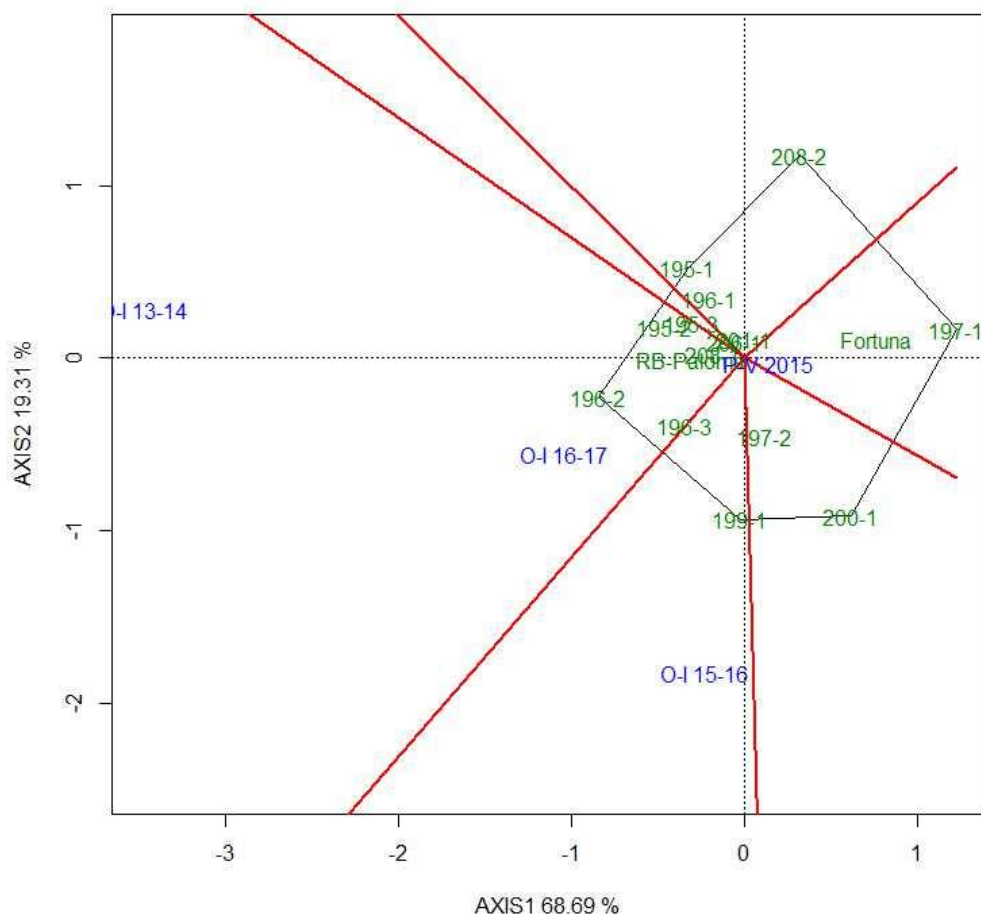


Fig. 3. Ambiente de evaluación de estabilidad y adaptabilidad de 16 variedades de sorgo blanco evaluados en 4 ambientes, representados en el Plano de Variedad y Variedad x Ambiente (GG biplot).

Fig. 3. Environment evaluation for stability and adaptability of 16 varieties of white sorghum evaluated in 4 environments, represented in the Variety and Variety x Environment graphic (GG biplot).

Variedades experimentales sobresalientes

Las variedades experimentales que conjugan las mejores características agronómicas fueron 196-2, 197-2 y 206-1. La variedad 196-2 presentó el valor numérico más alto para rendimiento de grano ($3,533 \text{ kg ha}^{-1}$), similar estadísticamente a RB-Paloma ($2,955 \text{ kg ha}^{-1}$) y superior a Fortuna ($2,494 \text{ kg ha}^{-1}$) en 41.7 %. Además, fue más precoz a la floración (74.1 días después de la siembra) que Fortuna (84.3 días) y presentó una PFB ($20,007 \text{ kg ha}^{-1}$) igual que Fortuna ($28,541 \text{ kg ha}^{-1}$) y RB-Paloma ($18,419 \text{ kg ha}^{-1}$). De acuerdo con los parámetros de estabilidad, 196-2 tuvo alto rendimiento de grano, estabilidad y mejor respuesta al ambiente. Las variedades experimentales 197-2 y 206-1 presentaron un rendimiento de biomasa fresca ($p \leq 0,05$) de $27,822$ y $27,914 \text{ kg ha}^{-1}$ respectivamente, que fue igual al de Fortuna y superior al de RB-Paloma en 55 %. Fueron más precoces a la floración (77 y 75.3 días respectivamente) que Fortuna. Según el modelo GGE biplot,

en rendimiento de grano kg ha⁻¹, estas dos variedades presentaron buena estabilidad y fueron similares a los testigos, mientras 197-2, presentó menor incidencia de enfermedades foliares (2.08) que RB-Paloma (2.65).

Conclusiones

Las variedades experimentales 196-2, 197-2 y 206-1 presentaron características agronómicas sobresalientes para la región sur de Tamaulipas.

Referencias

- Doggett, H. (1967). Yield increase from sorghum hybrids. *Nature Research journals*, 216, 798-799.
DOI: <http://doi.org/10.1038/216798a0>
- Ezeaku, I. E., & Mohammed, S. G. (2006). Character association and path analysis in grain sorghum. *African Journal of Biotechnology*, 5, 1337-1340.
- Flores-Naveda A., Valdés-Lozano, C. G. S., Rooney, W. L., Olivares-Sáenz, E., Zavala-García, F., Gutiérrez-Díez, A., & Vázquez-Badillo, M. E. (2012). Rendimiento de grano en líneas de sorgo cultivadas bajo riego y riego limitado en Texas. *Phyton*. 81(1). Disponible en línea www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851/
- Flores-Naveda, A., Valdés-Lozano, C. G. S., Zavala-García, F., Olivares-Sáenz, E., Gutiérrez-Díez, A., & M. E. Vázquez-Badillo. (2013). Comportamiento agronómico de líneas para la producción de semilla de sorgo. *Agronomía Mesoamericana*, 24, 119-131.
- FORRATEC, (2017). Cultivo de sorgo, algunas consideraciones a tener en cuenta. Disponible en línea https://fornatec.com.ar/newsletter/_2017/fls-2017-10-14.html/
- Frutos, E., Galindo, M. P., & Leyva, V. (2014). An interactive biplot implementation in R for modeling genotype-by-environment interaction. *Stochastic Environment research and Risk Assesment*, 28, 1629-1641. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00477-013-0821-z>
- García, E. (1988). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., MEX.
- García-León, E., Huerta-Espino, J., Villaseñor-Mir, H. E., Sandoval-Islas, J. S., Leyva-Mir, S. G., Benítez-Riquelme, I., & Cruz-Izquierdo, S. (2018). Genética de la resistencia a la roya del tallo en planta adulta en genotipos elite de trigo harinero. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(4), 385-392. DOI: <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.4.385-392>

- Gollob, H. F. (1968). A statistical model which combines features of factor analytic and analysis of variances technique. *Psychometrik*, 33, 73-115. DOI: 10.1007/BF02289676
- González J. A., Aguirre E. A., & Hernández J. A. A. (2009). Sorgo Fortuna, una alternativa para producir forraje en la planicie Huasteca. Desplegable para productores No. 11. INIFAP. Campo Experimental las Huastecas. Disponible en línea biblioteca.inifap.gob.mx.8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1316/815/
- Hernández-Espinal, L.A., & Moreno-Gallegos T. (2014). Análisis de las generaciones F1 y F2 de híbridos experimentales y comerciales de sorgo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5, 49-59.
- House, L.R. (1985). A guide to sorghum breeding. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), Andhra Pradesh, INDIA.
- ICRISAT (International Crops Research Institute for the Semi-arid Tropics), (1992). ICRISAT Annual Report, (1991). Disponible en línea oar.icrisat.org/972/
- INIFAP, (2015). Campo Experimental Huastecas. Disponible en línea www.inifapcirne.gob.mx/LocalizacionHuastecas.htm/
- Khawaja, Janssen, C., Rutz, R. D., Luquet, D., Trouche, G., Reddy, B., Rao, P.S., et al. (2014). Manual del Sorgo Dulce: cultivo con potencial energético. http://www.sweetfuel-project.eu/publications/energy_sorghum_handbook_spanish_version/
- Martínez-Sánchez, J., Espinosa-Paz, N., Ramírez-Córdoba A. L., Camas-Gómez, R., & Villegas-Aparicio, Y. (2018). expresión fenotípica y estabilidad en poblaciones de maíz nativo de Chiapas. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*. 5(1), 1-11.
- McBee, G. & Miller F.R. (1990). Carbohydrate and lignin partitioning in sorghum stems and blades. *Agronomy Journal*, 82, 687-690. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj1990.00021962008200040008x>
- Montes, G. N., Williams, A. H., Moreno, G. T., Cisneros, L. M. E., & Pecina, Q. V. (2012). RB-Paloma variedad de sorgo blanco para consumo humano y forraje. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35, (2)185-187.
- Moreno-Gallegos T., Melgoza-Villagomez, C. M., Cuevas-Reyes V., & Hernández-Espinal, L. A. (2017). Evaluación de la susceptibilidad a *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid en

- diferentes variedades e híbridos comerciales de sorgo en Sinaloa, México. *Nova Scientia* 9, 186-199. DOI: <https://doi.org/10.21640/ns.v9i18.732>
- Pacheco, A., Vargas, M., Alvarado, G., Rodríguez, F., Crossa J & Burgueño, J. (2015). “GEA-R (Genotype X Environment Analysis with R for Windows) versión 2.0”, <http://hdl.handle.net/11529/10203> International Maize Wheat Improvement Center.
- Pérez-Hernández, A., Quero-Carrillo, A. R., Escalante-Estrada, J. A. S., Rodríguez-González, M. T., Garduño-Velázquez, S., & Miranda-Jiménez, L. (2018). Fenología, biomasa y análisis de crecimiento de cultivares de sorgo forrajero en Valles Altos. *Agronomía Costarricense*, 42(2), 107-117. DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/rac.v42i2.33782>
- Reddy, B. V. S., Kumar, A. A., & Dar, W. D. (2006). Overview of sweet sorghum breeding at ICRISAT: Opportunities and constraints. Retrieved from <https://www.ifad.org/documents/10180/eedbb75a-9f8f-4f5a-9d18-4a42cbbe1dd7/>
- Reyes-Rodríguez E, (2017). Productividad de la red bovino en Tamaulipas. Disponible en línea <https://www.ganaderia.com> > destacado > En-Tamaulipas, - cuantifican
- Rodríguez H. R., Trujillo, J. A., & Compton, P. L. (1988). Costeño 201, variedad de sorgo apta para consumo humano y adaptado a zonas cálidas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 11, 222-224.
- Rodríguez-Pérez, J. E., Sahagún-Castellanos, J., Villaseñor-Mir, H. E., Molina-Galán, J. D., & Martínez-Garza, Á. (2005). La interacción genotipo× ambiente en la caracterización de áreas temporeras de producción de trigo. *Agrociencia*, 39(1), 51-64.
- Rooney W. L. (2004). Sorghum improvement integrating traditional and new technology to produce improved genotypes. *Advances in Agronomy*, 83, 37-139.
- SAGARPA. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2015. Sorgo grano mexicano. Planeación Agrícola Nacional 2017 2030. Disponible en línea www.gob.mx > B_sico-Sorgo_Grano.
- Sarvari, S.M., & Behesthi S.A. (2012). Relationship between grain yield and plant characteristics in grain sorghum genotypes under drought stress conditions. *Iranian Journal Crop Science*, 14:183-201.
- SAS Institute.2006. Statistical Analysis System Release 9.3 ed. SAS Institute, Inc., Cary, NC.

- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2017). Avance de siembras y cosechas. Resumen nacional por estado. Disponible en línea <http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola-siap-gobmx/>
- Soltero-Díaz, L., Ron-Parra, J., Ramírez-Díaz J.L., & González-Eguiarte, D.R. (2005). Respuesta a la selección de la población de sorgo TP-17 para resistencia a *Exserohilum turcicum* (Leo y Sug.) y para porte bajo de planta. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28, 99-104.
- Tirado-Soto, C. S., Vásquez-Arce, V., Narro-León, L. A. (2019). Estabilidad de rendimiento y adaptabilidad de híbridos de maíz tolerantes a suelos ácidos en base a las características del análisis GGE biplot. *XXII Reunión Latinoamericana del MAIZ*, 11 (17), 50-63. DOI: <http://dx.doi.org/10.18272/aci.v11i1.1081>
- Valadez, G. J., J. C. García, F. G. Zavala & R. L. L. Valle. (2011). Producción de biomasa y concentración de azúcares de dos variedades de sorgo dulce en la región Huasteca Tamaulipeca. *Revista Científica UDO Agrícola*, 11(1), 58-70.
- Williams, A. H., & Arcos, C. G. (2015). Comportamiento agronómico de híbridos y progenitores de sorgo para grano en las Huastecas. *Agronomía Mesoamericana*, 26, 87-97. DOI: <https://doi.org/10.15517/am.v26i1.16926>
- Williams, A. H., Pecina, Q. V., Montes, G. N., Palacios, V. O., & Vidal, M. V. A. (2009). Reacción de variedades de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] para grano a *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 27, 148-155.
- Williams, H., Montes, N., & Pecina, V. (2006). Sorgo. En: L.A. Rodríguez del Bosque, editor, 50 años de investigación agropecuaria en el norte de Tamaulipas, historia, logros y retos. Libro técnico No. 1. Campo Experimental Río Bravo, Instituto Nacional de investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Río Bravo, Tam., México. p. 33-54.
- 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. DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/ma.v28i3.26690>
- Yan W., A. Hunt., Q. Sheng, and Z. Szlavnic (2000). Cultivar Evaluation and Mega-Environment Investigation Based on the GGE Biplot. *Crop Science*. 40 (3): 597-605. DOI: 10.2135/cropsci2000.403597x

- Yan, W., & Tinker, N. A. (2006). Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, 86(3), 623-645. DOI: <https://doi.org/10.4141/P05-169>
- Zhang, B., & Wang, Q. (2015). MicroRNA-based biotechnology for plant improvement. *Journal of Cellular Physiology*, 230, 1-15. DOI: <https://doi.org/10.1002/jcp.24685>