

Universidad Autónoma de Sinaloa
Colegio de Ciencias Agropecuarias
Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte
Doctorado en Ciencias Agropecuarias



TESIS:

“Resistencia de genotipos avanzados de sorgo sobre *Melanaphis sorghi* (sacchari) (Theobald) ”

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

PRESENTA:

Jesús Asunción López Guzmán

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Fernando Alberto Valenzuela Escoboza

CO-DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Edgardo Cortez Mondaca

ASESORES:

Dra. María Alejandra Payán Arzapalo

Dr. Obed Gabriel Gutiérrez Gutiérrez

Dr. Luis Alberto Hernández Espinal

Juan José Ríos, Sinaloa, México, Agosto de 2026



Universidad Autónoma de Sinaloa

Dirección General de Bibliotecas

Repositorio Institucional Buelna

Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

Esta obra está bajo una Licencia [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)



Dirección General de Bibliotecas
Ciudad Universitaria
Av. de las Américas y Blvd.
Universitarios
C.P. 80010 Culiacán Sin. Méx.
Tel (667) 713 78 32 y
(667) 712 50 57
dgbuas@uas.edu.mx

DEDICATORIA

A Dios.

Por darme la vida y permitir alcanzar esta meta de mi formación profesional.

A mis padres

Berta Alicia Guzmán Aguilar y †J. Asunción López Santana, que, sin medir esfuerzo, siempre me apoyaron para ser un hombre de bien ante la sociedad.

A mis Hermanos.

Francisco y Martina, por todo su apoyo incondicional, esperando que este logro les sirva de ejemplo.

A mi esposa

Elma Clarita Santos Jiménez, por todo el apoyo incondicional y ser el pilar en los momentos de mayor cansancio. Gracias por tu paciencia, por creer en mí y por caminar a mi lado en este desafío. Este logro es tan tuyo como mío.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el financiamiento económico para la realización de estudios de postgrado (Doctorado).

A la Universidad Autónoma de Sinaloa, al Colegio de Ciencias Agropecuarias y a la Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, por la confianza depositada en mi persona y haberme dado la oportunidad de ser parte de esta institución educativa.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por brindarme las facilidades para llevar a cabo mis estudios de postgrado y establecimiento de los ensayos experimentales.

A los Dres. Fernando Alberto Valenzuela Escoboza, Dr. Edgardo Cortez Mondaca, Dra. María Alejandra Payán Arzapalo, Dr. Obed Gabriel Gutiérrez Gutiérrez y Dr. Luis Alberto Hernández Espinal, por ser parte del Comité tutorial. Mi más sincero agradecimiento a cada uno de ustedes por todo el tiempo, conocimiento, dedicación, interés y consejos aportados en todo el proceso de realización del presente documento de investigación.

Mi sincero agradecimiento al M.C. Jesús Pérez Márquez, Director de Coordinación y Vinculación en Sinaloa, por las facilidades otorgadas en esta etapa de superación profesional y permitir llevar a cabo el trabajo de investigación en el Campo Experimental Valle de Culiacán (CEVACU).

Un total y sincero agradecimiento a el **Ing. Tomás Moreno Gallegos**, por abrirme las puertas en el programa de mejoramiento Genético de Sorgo del CEVACU, así como el apoyo y conocimiento brindado durante el poco tiempo que nos tocó compartir en el INIFAP.

Mi sincero agradecimiento a; Lorenzo, Octavio, Ricardo, Misael, Jorge (Vaquero) y Enrique (Moo), por su ayuda en sacar adelante cada uno de los cultivos establecidos, en la realización de la presente investigación.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN DE LITERATURA.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
1.2.1. Origen y distribución del sorgo.....	4
1.2.2. Clasificación taxonómica del sorgo.....	4
1.2.3. Morfología del sorgo.....	5
1.2.4. Importancia económica.....	6
1.2.5. Panorama nacional.....	6
1.2.6. Panorama estatal.....	7
1.2.7. Usos del sorgo.....	7
1.2.8. Áfidos que atacan al sorgo.....	7
1.2.9. El pulgón amarillo del sorgo <i>Melanaphis sorghi</i> (T.).....	8
1.2.10. Clasificación taxonómica del pulgón amarillo.....	8
1.2.11. Descripción.....	9
1.2.11.1. Adulto.....	9
1.2.11.2. Ninfa.....	9
1.2.12. Daños ocasionados en sorgo.....	10
1.2.13. Técnicas de muestreo y monitoreo.....	11
1.2.14. Plantas hospederas de <i>Melanaphis sorghi</i>	12
1.2.15. Distribución geográfica.....	13
1.2.16. Estrategias de control.....	13
1.2.16.1. Control cultural.....	14
1.2.16.2. Control biológico.....	15
1.2.16.3. Control químico.....	16
1.2.16.4. Control genético.....	16
1.2.17. Mecanismos de resistencia genética.....	17
1.2.17.1. Antibiosis.....	18
1.2.17.2. Antixenosis (no preferencia)	19
1.2.17.3. Tolerancia.....	19
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	22
1.4. HIPÓTESIS.....	23
1.5. OBJETIVO GENERAL.....	24
1.5.1. Objetivos específicos.....	24
CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA DE LÍNEAS AVANZADAS F7 DE SORGO (<i>Sorghum bicolor</i> (L.) MOENCH) EN EL CENTRO DE SINALOA.....	25
RESUMEN.....	25
ABSTRACT.....	26

2.1. INTRODUCCIÓN.....	27
2.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
2.2.1. Material genético utilizado.....	29
2.2.2. Conducción del experimento.....	30
2.2.3. Variables evaluadas.....	30
2.2.4. Análisis de los datos.....	32
2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
2.4. CONCLUSIONES.....	39
CAPÍTULO 3. TOLERANCIA AL PULGÓN AMARILLO DEL SORGO (<i>Melanaphis sorghi</i> (THEOBALD) HEMIPTERA: APHIDIDAE) EN GENOTIPOS AVANZADOS DE SORGO, GENERADOS POR EL INIFAP EN SINALOA.....	40
RESUMEN.....	40
ABSTRACT.....	41
3.1. INTRODUCCIÓN.....	42
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	45
3.2.1. Material genético utilizado.....	45
3.2.2. Conducción del experimento.....	45
3.2.3. Variables evaluadas.....	46
3.2.4. Análisis de los datos.....	48
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
3.4. CONCLUSIONES.....	58
CAPÍTULO 4. LITERATURA CITADA.....	59
CAPÍTULO 5. ANEXO.....	68

ÍNDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro 1	Líneas de sorgo evaluados y su origen.....	29
Cuadro 2	Variables evaluadas, unidad de medida y método de medición en diez líneas de sorgo.....	31
Cuadro 3	Comparación de medias $\pm$ error estándar de las principales 12 características agronómicas, en diez líneas F7 experimentales de sorgo.	35
Cuadro 4	Infestación de <i>Melanaphis sorghi</i> , área foliar, grosor de hoja, grados Brix, rendimiento de grano, $\pm$ error estándar en genotipos evaluados de sorgo.	50
Cuadro 5	Severidad de daño, índice de daño (ID), índice de daño relativo (IDR), clasificación de los genotipos, $\pm$ error estándar de genotipos de sorgo evaluados contra el pulgón amarillo del sorgo <i>Melanaphis sorghi</i>	55

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Hembra áptera y ninfa de <i>M. sorghi</i>	9
Figura 2 Hoja de sorgo infestada por pulgón amarillo.....	12

RESUMEN

Los recursos genéticos constituyen las bases biológicas esenciales para la seguridad alimentaria y la diversidad agrícola. En México, el estado de Sinaloa destaca como el séptimo productor nacional de sorgo, aportando aproximadamente 300,000 toneladas de grano al año. Sin embargo, la producción de este cultivo enfrenta una amenaza por la presencia del pulgón amarillo del sorgo (*M. sorghi*), una plaga que succiona la savia de la planta, reduciendo el proceso de la fotosíntesis y fomentando la aparición del hongo de la fumagina. Aunque el control tradicional depende de agroquímicos, el uso de genotipos tolerantes se presenta como una alternativa sostenible. La resistencia vegetal puede manifestarse mediante antibiosis, antixenosis (no preferencia) o tolerancia, la cual permite mantener el rendimiento a pesar del daño. Bajo este contexto, se realizaron investigaciones enfocadas en evaluar 10 genotipos avanzados de sorgo (generación F7), desarrollados por el programa de mejoramiento genético del INIFAP en el Campo Experimental Valle de Culiacán. El objetivo general fue realizar su caracterización agronómica con fines de liberación comercial, así como determinar su nivel de tolerancia o susceptibilidad ante el pulgón amarillo mediante el análisis de variables como la infestación, la severidad del daño y el Índice de Daño Relativo. Los resultados presentan diferencias significativas en las respuestas: el genotipo BT09T9B sobresalió por presentar los mayores rendimientos tanto en grano como en forraje. Asimismo, los genotipos BT09T9B y BT09T9R, presentaron una moderada tolerancia a la plaga y un alto potencial productivo, posicionándose como genotipos clave para su registro comercial. Por otra parte, la línea BT09T5 manifestó un mecanismo de resistencia por antixenosis.

Palabras clave: sorgo, *Melanaphis sorghi*, mejoramiento genético.

ABSTRACT

Genetic resources constitute the essential biological basis for food security and agricultural diversity. In Mexico, the state of Sinaloa stands out as the seventh largest national producer of sorghum, contributing approximately 300,000 tons of grain per year. However, the production of this crop faces a threat from the presence of the yellow sorghum aphid (*M. sorghi*), a pest that sucks the sap from the plant, reducing the photosynthesis process and promoting the appearance of sooty mold fungus. Although traditional control relies on agrochemicals, the use of tolerant genotypes is emerging as a sustainable alternative. Plant resistance can manifest as antibiosis, antixenosis (non-preference), or tolerance, which allows yield to be maintained despite damage. Under this context, research was conducted focusing on evaluating 10 advanced sorghum genotypes (F7 generation), developed by the INIFAP genetic improvement program at the Valle de Culiacan Experimental Field. The overall objective was to carry out its agronomic characterization for commercial release purposes, as well as to determine its level of tolerance or susceptibility to the yellow aphid by analyzing variables such as infestation, severity of damage and the Relative Damage Index. The results show significant differences in the responses: the BT09T9B genotype stood out for having the highest yields in both grain and forage. Furthermore, the BT09T9B and BT09T9R genotypes exhibited moderate tolerance to the pest and high yield potential, positioning themselves as key genotypes for commercial registration. On the other hand, the BT09T5 line displayed a resistance mechanism based on antixenosis.

keywords: sorghum, *Melanaphis sorghi*, genetic improvement.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 INTRODUCCIÓN

A nivel global, el sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) destaca como el quinto cereal de mayor relevancia para el consumo gracias a sus propiedades nutricionales (Pérez *et al.*, 2010). Durante el año 2025, el volumen de producción mundial alcanzó los 46.1 millones de toneladas de grano, posicionando a México en la tercera posición con un aporte de 3.8 millones de toneladas (USDA, 2025). En el ámbito nacional, Sinaloa se ubica en el séptimo lugar al registrar una producción de 146, 291 toneladas (SIAP, 2026).

En México, el cultivo de sorgo representa el segundo cereal de mayor importancia para el sector pecuario, únicamente después del maíz, debido a su amplia utilización como fuente de energía en la alimentación animal. Este cultivo se establece en prácticamente todo el territorio nacional; no obstante, cerca del 80 % de la superficie sembrada se concentra en los estados de Guanajuato, Michoacán, Nayarit, Sinaloa y Tamaulipas, entidades que aportan la mayor parte de la producción nacional (SIAP, 2026). Asimismo, el grano de sorgo constituye uno de los ingredientes fundamentales en la formulación de alimentos balanceados para la industria pecuaria, gracias a su elevado contenido energético, disponibilidad y competitividad económica (Rebollar *et al.*, 2016).

A pesar de la importancia económica pecuaria del sorgo, su producción se encuentra limitada a factores bióticos, entre los que destacan las plagas y enfermedades que afectan el rendimiento y la calidad del cultivo (Villanueva y Sekula, 2014). Entre las plagas de mayor impacto sobresale el pulgón amarillo del sorgo *Melanaphis sorghi* (Theobald) (Hemiptera: Aphididae), considerado una de las principales amenazas fitosanitarias para este cultivo en México. El primer reporte de esta infestación en México ocurrió en noviembre del 2013 en el estado de Tamaulipas, donde ocasionó afectaciones severas que oscilaron entre el 30 y el 100 % de la producción, adquiriendo el estatus de plaga emergente. Posteriormente, hacia finales de 2014, se documentó la dispersión y el establecimiento epidemiológico de este áfido

en los estados de Coahuila, Nuevo León, Guanajuato, Nayarit, Sinaloa y Veracruz (Rodríguez del Bosque y Terán, 2015).

En el estado de Sinaloa, la presencia del pulgón amarillo del sorgo fue registrada por primera vez en agosto del 2014. Durante ese mismo año, la plaga fue detectada infestando no solo cultivos de sorgo, sino también plantas de maíz (*Zea mays* L.), caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) y sorgo forrajero. Así mismo se observó su establecimiento en socas de sorgo, plantas voluntarias y zacate Johnson (*Sorghum halepense* (L.) Pers.) las cuales actuaron como hospederos alternos que favorecieron su supervivencia, dispersión y permanencia en las zonas productoras del estado (CESAVESIN, 2014).

El pulgón amarillo del sorgo, es una plaga de distribución mundial cuyo centro de origen se ubica en el continente africano. Desde su dispersión hacia otras regiones productoras de sorgo, ha provocado pérdidas económicas significativas debido a su elevada capacidad reproductiva al rápido incremento de sus poblaciones (Rodríguez del Bosque y Terán, 2015). Los daños ocasionados por esta especie pueden clasificarse en directos e indirectos. El daño directo resulta de la extracción continua de savia mediante su aparato bucal picador-chupador, principalmente en el envés de las hojas, lo que reduce la actividad fotosintética, debilita el crecimiento de las plantas y disminuye el rendimiento del cultivo. Por otra parte, el daño indirecto se relaciona con su capacidad para actuar como vector de diversos virus fitopatógenos, entre ellos el virus del mosaico de la caña de azúcar, favoreciendo la propagación de enfermedades y agravando las pérdidas en los sistemas de producción (Singh *et al.*, 2004).

Adicionalmente, durante el proceso de alimentación *M. sorghi* excreta abundantes cantidades de mielecilla, una sustancia rica en azúcares que se deposita sobre la superficie de las hojas. Este sustrato favorece el crecimiento y desarrollo de hongos saprófitos, principalmente del complejo conocido como fumagina, el cual forma una capa oscura que reduce la penetración de la radiación solar e interfiere con el proceso fotosintético. Como consecuencia, disminuye la producción y translocación de fotoasimilados hacia los órganos reproductivos, afectando el llenado de grano, la

calidad de la cosecha y, en última instancia, el rendimiento del cultivo (Villanueva y Sekula, 2014).

El manejo del pulgón amarillo del sorgo *M. sorghi* comprende la integración de diversas estrategias de control, entre las que destacan el uso de insecticidas, la implementación de prácticas culturales y la conservación o liberación de enemigos naturales, con el propósito de reducir las poblaciones de la plaga y minimizar las pérdidas económicas (Singh *et al.*, 2004). No obstante, el desarrollo y utilización de genotipos de sorgo con resistencia genética constituye una de las alternativas más eficientes, sostenibles y ambientalmente seguras dentro de los programas de manejo integrado de plagas. En este contexto, los mecanismos de resistencia vegetal, como la antibiosis, la antixenosis y la tolerancia, representan herramientas fundamentales para limitar el establecimiento, desarrollo y daño ocasionado por *M. sorghi*, además de disminuir la dependencia del control químico y favorecer la estabilidad de los sistemas de producción (Lahiri *et al.*, 2019; Perales-Rosas *et al.*, 2019).

1.2. REVISIÓN DE LITERATURA

1.2.1. Origen y distribución del sorgo.

El sorgo es una especie perteneciente a la familia Poaceae, cuyo origen y proceso de domesticación se sitúan principalmente en el noreste de África, aunque existen evidencias arqueobotánicas que sugieren una dispersión temprana hacia la India y otras regiones de Asia (Duke, 1983; Pérez *et al.*, 2010). En la actualidad, este cereal constituye uno de los cultivos más importantes a nivel mundial debido a su elevada capacidad de adaptación a condiciones de sequía y altas temperaturas, lo que le permite representar una alternativa estratégica al maíz y al trigo para la alimentación humana, la producción de forraje y diversos usos agroindustriales (Pérez *et al.*, 2010). En el continente americano, el sorgo fue introducido a partir de materiales genéticos provenientes de diferentes regiones del mundo y, como resultado de procesos de hibridación, selección y mutación, se originó una amplia diversidad de variedades e híbridos que actualmente sustentan los programas de mejoramiento genético y los sistemas modernos de producción (Pérez *et al.*, 2010).

El sorgo presenta una amplia capacidad de adaptación agroecológica, lo que permite su cultivo desde el nivel del mar hasta aproximadamente 1,500 m de altitud. Esta especie se desarrolla satisfactoriamente en condiciones tropicales y subtropicales, especialmente en ambientes semiáridos, donde destaca por su elevada tolerancia al estrés hídrico y a las altas temperaturas, características que favorecen su estabilidad productiva en regiones con disponibilidad limitada de agua (Hassana y Mudashiru, 2018).

1.2.2. Clasificación taxonómica del sorgo.

Valladares (2010) menciona la siguiente clasificación taxonómica para el sorgo;

Reino: Vegetal

División: Trachaeophyta

Subdivisión: Pteropsidae

Clase: Angiospermae

Subclase: Monocotiledóneas

Grupo: Glumiflorae

Orden: Graminales

Familia: Poaceae (Gramínea)

Subfamilia: Panicoideae

Tribu: andropogoneae

Género: *Sorghum*

Especie: *bicolor*

1.2.3. Morfología del sorgo.

El sorgo comparte con el maíz características morfológicas y fisiológicas relevantes, entre ellas la realización de la fotosíntesis mediante el metabolismo C4, lo que le confiere una elevada eficiencia en la captura de carbono y en el aprovechamiento del agua bajo condiciones de altas temperaturas y radiación solar (Rodríguez *et al.*, 2007). Una de las principales adaptaciones de este cultivo es su sistema radical profundo y ampliamente desarrollado, el cual proporciona un adecuado soporte mecánico, favorece la acumulación de reservas y mejora la capacidad de exploración del perfil del suelo para la absorción de agua. Esta característica le permite mantener un mejor desempeño en ambientes con disponibilidad limitada de humedad y prolongados periodos de sequía (Duke, 1983; Hassana y Mudashiru, 2018).

El tallo del sorgo es robusto y generalmente alcanza entre 1 y 3 m de altura, aunque este carácter fenotípico puede variar en función de factores ambientales como la humedad del suelo, la temperatura y la competencia entre plantas durante el desarrollo del cultivo (Compton, 1990). Sus hojas son alternas, lanceoladas, de margen áspero y ligeramente aserrado, características que contribuyen a disminuir la pérdida de agua por transpiración y favorecen la adaptación a ambientes cálidos y secos (Duke, 1983; Hassana y Mudashiru, 2018). El sorgo es reconocido como uno de los cereales con mayor eficiencia en el uso del agua, debido a su capacidad para tolerar periodos prolongados de déficit hídrico y reanudar su crecimiento cuando las condiciones de humedad vuelven a ser favorables (Graveros, 2003; Soreng *et al.*, 2015). Las inflorescencias se presentan en panículas con una amplia variación en tamaño y arquitectura, pudiendo ser abiertas, compactas o semicompactas, con longitudes de 4 a 25 cm, anchuras de 2 a 20 cm y una producción de hasta 6,000 flores

por panícula. El grano corresponde a una cariósida de reducido tamaño, cuya coloración puede ser blanca, amarilla, roja o café, y se caracteriza por su elevado contenido de almidón, atributo que determina gran parte de su importancia alimentaria e industrial (Pérez *et al.*, 2010; Valladares, 2010).

1.2.4. Importancia económica.

El sorgo es uno de los cereales cultivados desde tiempos antiguos y constituye un cultivo de gran relevancia agrícola, alimentaria y económica en numerosas regiones de África, Asia y América. En diversos países de estos continentes representa una de las principales fuentes de alimento, tanto para consumo humano como para la alimentación pecuaria, debido a su amplia adaptación y versatilidad de uso (Dicko *et al.*, 2006). En México, este cultivo ocupa un papel estratégico en los sistemas de producción agropecuaria, ya que su grano y biomasa son ampliamente utilizados en la alimentación animal. Asimismo, forma parte de los esquemas de rotación de cultivos, contribuyendo al mantenimiento de la productividad y de las propiedades físicas del suelo. Su elevada tolerancia a la sequía y a las altas temperaturas permite su establecimiento en regiones áridas y semiáridas, lo que lo posiciona como uno de los cereales más importantes para la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas (SAGARPA, 2017).

1.2.5. Panorama nacional.

En México, el sorgo constituye un cultivo estratégico para el desarrollo de la actividad pecuaria, debido a su amplia utilización en la producción de grano y forraje destinados a la alimentación animal. Durante el año 2024, la superficie sembrada alcanzó 1,422,301 ha, con una producción aproximada de 4,525,322 t de grano y 2,919,456 t de forraje verde, cifras que reflejan la relevancia económica y productiva de este cereal dentro del sector agroalimentario nacional (SIAP, 2026). Asimismo, su capacidad de adaptación a condiciones de sequía y altas temperaturas fortalece su importancia como alternativa para los sistemas de producción ubicados en regiones con disponibilidad limitada de agua.

1.2.6. Panorama estatal.

En el ciclo agrícola 2024, el estado de Sinaloa registró una producción de 146,291 t de grano y 87,219 t de forraje verde, lo que refleja la importancia del sorgo dentro de la actividad agropecuaria estatal (SIAP, 2026). Aproximadamente el 70 % de la superficie cultivada se establece bajo condiciones de temporal, donde se obtienen rendimientos promedio de 1.1 t ha⁻¹ de grano y 15.04 t ha⁻¹ de forraje verde. En contraste, el 30 % restante se produce bajo sistemas de riego, alcanzando rendimientos promedio de 6.6 t ha⁻¹ de grano y 16.7 t ha⁻¹ de forraje verde, lo que evidencia el efecto positivo de la disponibilidad de agua sobre la productividad del cultivo (SIAP, 2026).

1.2.7. Usos del sorgo.

Pacheco (1998) menciona que la mayor parte de la producción mundial de sorgo se destina a la alimentación pecuaria, ya sea mediante su uso como forraje o como ingrediente en la formulación de alimentos balanceados para el ganado. Además, el grano se emplea directamente en la alimentación de aves, porcinos y bovinos, así como en la elaboración de harina de sorgo.

1.2.8. Áfidos que atacan al sorgo.

Los pulgones representan uno de los grupos de insectos fitófagos de mayor importancia económica en la agricultura, debido a los daños directos e indirectos que ocasionan en una amplia diversidad de cultivos. De acuerdo con el tipo de daño que inducen sobre las plantas hospedantes, estas especies se clasifican en fitotóxicas y no fitotóxicas. En el cultivo de sorgo, las especies de mayor relevancia son el pulgón amarillo del sorgo *M. sorghi*, el pulgón verde de los cereales (*Schizaphis graminum*) y el pulgón del maíz (*Rhopalosiphum maidis*) (del Toro-Ben *et al.*, 2018). Estas especies presentan una amplia distribución geográfica en Asia, África y América, donde su capacidad de colonización, elevada tasa reproductiva y adaptación a diferentes condiciones agroecológicas las han consolidado como plagas de importancia económica, debido a las pérdidas significativas que ocasionan en la productividad y rentabilidad del cultivo de sorgo (Rodríguez *et al.*, 2019).

1.2.9. El pulgón amarillo del sorgo *Melanaphis sorghi* (T.).

El pulgón amarillo del sorgo *M. sorghi* constituye una de las principales plagas de importancia económica a nivel mundial en el cultivo de sorgo, debido a su amplia capacidad de dispersión, adaptación a diferentes ambientes agroecológicos y elevado potencial reproductivo. Esta especie tiene su centro de origen en África y presenta un amplio rango de hospederos, entre los que destacan el sorgo, la caña de azúcar y diversas especies de pastos, lo que favorece su establecimiento y permanencia en los sistemas agrícolas (Rodríguez del Bosque y Terán, 2015).

Actualmente, *M. sorghi* se encuentra distribuido en regiones agrícolas de África, Asia, Centroamérica, Sudamérica y otras áreas productoras de cereales, donde representa una amenaza constante para la producción de sorgo. Su presencia en Estados Unidos y México ha generado afectaciones considerables, ocasionando pérdidas en el rendimiento del cultivo que pueden oscilar entre 30 y 100 %, dependiendo de la densidad poblacional de la plaga, la susceptibilidad del genotipo, las condiciones ambientales y la etapa fenológica en la que ocurre la infestación (Rodríguez del Bosque y Terán, 2015; Singh *et al.*, 2004).

1.2.10. Clasificación taxonómica del pulgón amarillo.

A lo largo del tiempo, la clasificación taxonómica del pulgón amarillo del sorgo ha experimentado diversas modificaciones como resultado de los avances en los estudios morfológicos, moleculares y filogenéticos. Diferentes autores han propuesto cambios en su denominación científica y ubicación taxonómica, reflejando la complejidad en la identificación y delimitación de esta especie. En este contexto, Harris *et al.* (2022) y Nibouche *et al.* (2021) presentan la siguiente clasificación taxonómica:

Reino: Animalia

Phylum: Arthropoda

Clase: Insecta

Orden: Hemiptera

Familia: Aphididae

Género: *Melanaphis*

Especie: *Melanaphis sorghi*

1.2.11. Descripción.

1.2.11.1. Adulto. Los adultos de *M. sorghi* presentan una coloración que varía de amarillo a verde pálido y alcanzan una longitud corporal aproximada de 0.9 a 2.44 mm. Sus antenas están conformadas por seis segmentos y generalmente superan en longitud al cuerpo del insecto, característica morfológica utilizada para su identificación taxonómica. La especie presenta individuos en formas ápteras y aladas (Figura 1), cuya proporción dentro de la población está influenciada por las condiciones ambientales y la disponibilidad del hospedante. El ciclo biológico del pulgón amarillo del sorgo tiene una duración aproximada de 28 días, aunque puede variar entre 10 y 38 días dependiendo principalmente de factores como temperatura, calidad del alimento y condiciones ambientales. Bajo condiciones de estrés nutricional o limitada disponibilidad de tejido vegetal, la especie induce la formación de individuos alados, favoreciendo su dispersión hacia nuevos hospederos y la colonización de áreas agrícolas (Brow *et al.*, 2014).

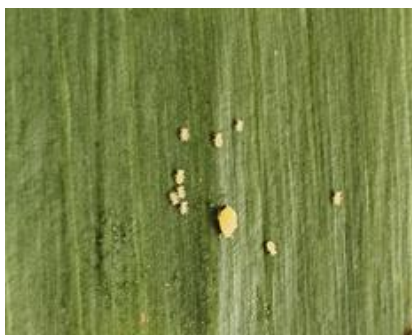


Figura 1. Hembra áptera y ninfas de *M. sorghi*.

1.2.11.2. Ninfa. Las ninfas de *M. sorghi* presentan una coloración que varía de amarillo pálido a verde amarillento y se caracterizan por su cuerpo blando, ovalado y de tamaño reducido en comparación con los adultos. Durante su desarrollo atraviesan

cuatro estadios ninfales, en los cuales incrementan progresivamente su tamaño hasta alcanzar las dimensiones del estado adulto. Al igual que los adultos, poseen aparato bucal picador-chupador adaptado para extraer savia del floema de las plantas hospedantes. Las ninfas presentan antenas de seis segmentos, ojos compuestos desarrollados y cornículos abdominales característicos de la familia Aphididae. En los últimos estadios ninfales pueden observarse individuos con desarrollo de tecas alares, que darán origen a formas adultas aladas bajo condiciones que favorecen la dispersión. El periodo ninfal está influenciado principalmente por la temperatura, calidad nutricional del hospedante y condiciones ambientales; bajo condiciones favorables, el desarrollo es rápido, permitiendo la formación de nuevas generaciones en periodos cortos. La producción de formas aladas ocurre como respuesta a factores de estrés poblacional, deterioro del hospedante o limitación de recursos, constituyendo un mecanismo adaptativo que permite la migración y establecimiento de nuevas colonias en plantas susceptibles (Brow *et al.*, 2014).

1.2.12. Daños ocasionados en sorgo.

El daño ocasionado por el pulgón amarillo del sorgo *M. sorghi* está asociado principalmente con su hábito de alimentación mediante la inserción de su aparato bucal picador-chupador en los tejidos foliares, donde extrae savia del floema y provoca alteraciones fisiológicas en la planta. La disminución del contenido de fotoasimilados y el deterioro del tejido foliar pueden generar un debilitamiento progresivo del cultivo, particularmente cuando las infestaciones alcanzan altas densidades poblacionales. Bajo condiciones de daño severo, las plantas presentan mayor susceptibilidad al ataque de patógenos oportunistas como *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid., agente causal de la pudrición carbonosa del tallo, cuya incidencia favorece el debilitamiento estructural de la planta e incrementa la susceptibilidad al acame (Balika y Lingappa, 2012; Rodríguez del Bosque y Terán, 2018).

Además del daño directo ocasionado por la extracción de savia, *M. sorghi* genera efectos indirectos mediante la producción de mielecilla, una sustancia azucarada excretada durante su proceso de alimentación y depositada principalmente sobre la superficie de las hojas inferiores. Esta secreción favorece el establecimiento de hongos

saprófitos que forman capas oscuras de fumagina, reduciendo la intercepción de radiación solar y afectando la capacidad fotosintética de la planta. Como consecuencia, se altera la acumulación de biomasa, disminuye la calidad nutricional del grano y forraje, y bajo condiciones de infestaciones severas pueden registrarse pérdidas de hasta 100 % en el rendimiento de grano (Villanueva y Sekula, 2014).

1.2.13. Técnicas de muestreo y monitoreo.

El muestreo del pulgón amarillo es de suma importancia para estimar la densidad y realizar las acciones para evitar que este rebase el umbral económico y provoque una disminución en el rendimiento, se recomienda inspeccionar periódicamente el cultivo para detectar la presencia de la plaga, de acuerdo a su comportamiento consiste en revisar las plantas del perímetro de la parcela (todos los márgenes de la misma) siempre buscando plantas que presenten mielecilla en sus hojas, estas indican la presencia del pulgón en el envés de las hojas, lo que indica que el pulgón se inspecciona en el envés de las hojas, al encontrar la presencia de pulgones en las plantas de la *periferia* se procede a internarse unos cinco surcos e ir monitoreando en zig-zag, con el objetivo de buscar más plantas infestadas (Cortez, *et al.*, 2018; Rodríguez Del Bosque y Terán, 2018).

Otra estrategia para la realización del muestreo consiste en establecer recorridos sistemáticos dentro de la parcela, realizando muestreos cada 5 o 10 surcos de la parcela, con el propósito de obtener una mayor representatividad espacial del área evaluada. En los surcos previamente seleccionados se recomienda realizar la toma de muestras a intervalos aleatorios de 10 a 20 m, efectuando la inspección directa de las plantas en la tercera y sexta hoja, de acuerdo con el protocolo de evaluación previamente establecido. Durante este proceso también se deben identificar y eliminar plantas fuera de tipo, particularmente aquellas que presentan características agronómicas diferentes al material evaluado, como mayor altura u otras variaciones fenotípicas no deseadas, con la finalidad de mantener la uniformidad del lote experimental (Cortez *et al.*, 2018).

1.2.14. Plantas hospederas de *Melanaphis sorghi*.

El género *Melanaphis* se encuentra estrechamente asociado con especies pertenecientes a la familia Poaceae, donde presenta una marcada preferencia por gramíneas cultivadas y silvestres. Dentro de esta familia, se han reportado asociaciones con diferentes géneros, entre los que destacan *Saccharum*, *Sorghum*, *Oryza*, *Panicum* y *Pennisetum*, los cuales representan hospederos importantes para el establecimiento, reproducción y dispersión de estas especies de áfidos (Blackman y Eastop, 1984). A nivel mundial, se han identificado más de 20 géneros de plantas hospederas asociadas con *M. sorghi*, predominando aquellas pertenecientes a la familia Poaceae. Entre los cultivos agrícolas de mayor importancia económica que pueden ser afectados se encuentran el sorgo, la caña de azúcar y el mijo común (*Panicum miliaceum* L.), especies que favorecen la supervivencia y expansión de las poblaciones del insecto en diferentes regiones productoras (Singh *et al.*, 2004; Peña *et al.*, 2015). En México, Rodríguez del Bosque y Terán (2018) señalan que el rango de hospederos de *M. sorghi* presenta una distribución más restringida, debido a que la especie se desarrolla principalmente en sorgo y zacate Johnson. Este último adquiere particular relevancia epidemiológica debido a su amplia distribución y permanencia en las áreas agrícolas, funcionando como reservorio natural del insecto durante periodos en los que el cultivo de sorgo no se encuentra establecido (Figura 2).



Figura 2.- Hoja de sorgo infestada por pulgón amarillo.

1.2.15. Distribución geográfica.

El pulgón amarillo del sorgo *M. sorghi* es una especie originaria de África y el Medio Oriente, regiones donde se encuentra asociado principalmente con gramíneas cultivadas y silvestres, destacando su importancia como plaga del cultivo de sorgo debido a su capacidad de adaptación, dispersión y establecimiento en nuevas áreas agrícolas (Rodríguez del Bosque y Terán, 2018). Su distribución geográfica se ha ampliado progresivamente hacia diferentes regiones productoras de cereales, convirtiéndose en una amenaza para la producción de sorgo a nivel mundial. En América del Norte, la presencia de *M. sorghi* adquirió relevancia a partir de 2013, cuando se registraron infestaciones severas en cultivos de sorgo establecidos en los estados de Louisiana, Mississippi, Oklahoma y Texas, Estados Unidos, ocasionando afectaciones importantes en la producción del cultivo (Bowling *et al.*, 2016). Posteriormente, Rodríguez del Bosque y Terán (2018) plantearon que la introducción del insecto hacia México probablemente ocurrió desde Texas hacia el noreste del país, particularmente al estado de Tamaulipas, debido a la cercanía geográfica y la conectividad entre las regiones productoras de sorgo.

Después de su introducción, *M. sorghi* presentó una rápida expansión territorial, estableciéndose actualmente en las principales zonas productoras de sorgo de México. Esta dispersión estuvo favorecida por la capacidad reproductiva del insecto, la presencia de hospederos alternativos y las condiciones ambientales favorables para su desarrollo. En el estado de Sinaloa, los primeros reportes del pulgón amarillo del sorgo se registraron durante 2014 en los municipios de Culiacán y Navolato, donde se detectaron infestaciones principalmente en sorgos forrajeros. Asimismo, se observó su capacidad de sobrevivencia y reproducción en socas de sorgo, plantas voluntarias y zacate Johnson, constituyendo fuentes importantes para la permanencia de las poblaciones del insecto en los sistemas agrícolas regionales (CESAVESIN, 2014).

1.2.16. Estrategias de control.

Dentro de las estrategias de manejo del pulgón amarillo del sorgo *M. sorghi*, la fecha de siembra del cultivo constituye una práctica agronómica fundamental para reducir el riesgo de infestación y minimizar los daños ocasionados por la plaga. La

elección adecuada de la fecha de siembra debe considerar la interacción entre el desarrollo fenológico del cultivo, las condiciones ambientales predominantes y la dinámica poblacional del insecto en cada región productora. Cuando el periodo de siembra es amplio, se recomienda reducir la ventana de establecimiento del cultivo, con la finalidad de evitar que los estados fenológicos más susceptibles coincidan con periodos de mayor abundancia poblacional del pulgón. Dependiendo de las características agroecológicas de cada zona, puede ser conveniente adelantar o retrasar la fecha de siembra para disminuir la exposición del cultivo a altas densidades del insecto (Cortez *et al.*, 2018).

Además de la fecha de siembra, la selección del ciclo fenológico del genotipo representa un componente importante dentro de la estrategia de manejo. Los cultivares de sorgo con diferentes ciclos de madurez presentan variaciones en la duración de las etapas susceptibles al ataque de *M. sorghi*. Por ello, se recomienda establecer materiales de ciclo tardío e intermedio al inicio del periodo óptimo de siembra, mientras que los genotipos precoces pueden ser utilizados cuando la fecha de establecimiento se encuentra más avanzada, procurando siempre mantener la siembra dentro del intervalo recomendado para la región. Esta estrategia permite sincronizar el desarrollo del cultivo con condiciones menos favorables para la proliferación del insecto y contribuye a reducir la presión de la plaga sobre el rendimiento del cultivo (Cortez *et al.*, 2018).

1.2.16.1. Control cultural. El control cultural constituye una estrategia preventiva dentro del manejo integrado de plagas, cuyo objetivo principal es modificar las condiciones del agroecosistema para reducir la colonización, establecimiento y desarrollo de las poblaciones de insectos plaga. En el caso del pulgón amarillo del sorgo *M. sorghi*, estas prácticas están orientadas a disminuir la disponibilidad de hospederos, limitar la reproducción del insecto y reducir la probabilidad de que el cultivo alcance niveles de infestación económicamente perjudiciales. Entre las principales medidas culturales se incluyen la rotación de cultivos, la selección adecuada de la fecha de siembra, el ajuste de la densidad poblacional del cultivo y la aplicación de una fertilización equilibrada, particularmente en el manejo del nitrógeno,

debido a su influencia sobre la calidad nutricional de los tejidos vegetales y la susceptibilidad de la planta al ataque de áfidos. Una práctica preventiva de importancia al inicio del ciclo agrícola consiste en la eliminación o reducción de hospederos alternativos, principalmente especies de pastos que pueden funcionar como reservorios para las poblaciones de áfidos antes del establecimiento del cultivo. Asimismo, el uso de trampas amarillas adhesivas representa una herramienta complementaria para el monitoreo y captura de individuos alados durante los periodos de migración, permitiendo detectar oportunamente la presencia del insecto y tomar decisiones de manejo basadas en la dinámica poblacional de la plaga (Wratten *et al.*, 2007).

1.2.16.2. Control biológico. El control biológico constituye una estrategia fundamental dentro del manejo integrado de plagas (MIP), debido a su capacidad para reducir las poblaciones de insectos fitófagos mediante la utilización de organismos antagonistas presentes de manera natural o mediante su implementación en los agroecosistemas. En comparación con el control químico convencional, esta estrategia representa una alternativa ambientalmente sostenible, ya que favorece la conservación de la biodiversidad, disminuye los riesgos de contaminación y contribuye a mantener el equilibrio entre las poblaciones de organismos benéficos y plagas agrícolas. En el caso del pulgón amarillo del sorgo *M. sorghi*, diversos organismos reguladores naturales han sido identificados como agentes potenciales para disminuir sus poblaciones. De acuerdo con White *et al.* (2001), entre los principales entomopatógenos, depredadores y parasitoides asociados con la regulación de este áfido se encuentra el hongo entomopatógeno *Lecanicillium lecanii*, así como diversos enemigos naturales pertenecientes a diferentes órdenes taxonómicos. Entre los depredadores registrados destacan *Diomus terminatus* Say (Coleoptera: Coccinellidae), *Allograpta exotica* (Wiedemann) y *Allograpta obliqua* (Say) (Diptera: Syrphidae), *Coleomegilla maculata fuscilabris* (Mulsant), *Cycloneda sanguinea* (L.), *Hippodamia convergens* Guérin y *Olla v-nigrum* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae), además de *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) y *Orius insidiosus* (Say) (Hemiptera: Anthocoridae). La presencia y actividad de estos organismos benéficos representa un componente relevante para la regulación natural de las

poblaciones de *M. sorghi*, particularmente en sistemas agrícolas donde se implementan prácticas orientadas a la conservación de enemigos naturales.

1.2.16.3. Control químico. El control químico constituye una herramienta de manejo utilizada para reducir poblaciones de insectos plaga cuando estas alcanzan niveles capaces de ocasionar pérdidas económicas; sin embargo, debe considerarse como una alternativa complementaria y de último recurso. El uso indiscriminado de insecticidas puede generar efectos adversos sobre el agroecosistema, entre ellos la contaminación ambiental, riesgos para la salud humana, alteraciones en la biodiversidad y la reducción de poblaciones de enemigos naturales que participan en la regulación biológica de las plagas. Para el manejo del pulgón amarillo del sorgo *M. sorghi*, el control químico se recomienda cuando las poblaciones alcanzan niveles elevados, considerando como umbral de referencia la presencia promedio de 50 pulgones o más por planta. No obstante, la decisión de aplicar insecticidas debe sustentarse en un monitoreo adecuado de la densidad poblacional del insecto, el estado fenológico del cultivo y las condiciones ambientales que favorecen su desarrollo.

Uno de los principales problemas asociados con el uso frecuente de insecticidas es la selección de poblaciones resistentes, debido a la presión de selección ejercida sobre los individuos con mayor capacidad de supervivencia. Martínez y Gómez (2007) señalan que la aplicación continua y excesiva de productos químicos favorece la evolución de resistencia en las poblaciones de insectos plaga, reduciendo progresivamente la eficacia de los ingredientes activos disponibles. En este sentido, la elevada capacidad reproductiva y el corto ciclo biológico de *M. sorghi* incrementan el riesgo de desarrollar resistencia a los insecticidas, debido a que permite la generación de numerosas generaciones en periodos relativamente cortos, favoreciendo la acumulación y dispersión de alelos asociados con mecanismos de resistencia (Sarwar, 2015).

1.2.16.4. Control genético. La resistencia genética de las plantas constituye una de las estrategias más eficientes y sostenibles para el manejo de insectos plaga, particularmente en especies con alta capacidad reproductiva como los áfidos. La

expresión de resistencia vegetal está determinada por la interacción entre las características morfológicas, fisiológicas y bioquímicas del hospedante, así como por la capacidad del insecto para localizar, alimentarse y desarrollarse sobre la planta. En este sentido, la accesibilidad de los tejidos vegetales y su composición nutricional representan factores determinantes que pueden influir en la aceptación del hospedante y en el desempeño biológico del insecto. Por ello, el conocimiento de los componentes bioquímicos asociados con la resistencia vegetal es fundamental para identificar mecanismos que permitan reducir el impacto de las plagas agrícolas (Sharma *et al.*, 2014; Van den Berg, 2002).

La resistencia de las plantas hacia los insectos se ha clasificado tradicionalmente en tres mecanismos principales: antixenosis o no preferencia, antibiosis y tolerancia (Painter, 1951; Tocho *et al.*, 2010). La resistencia vegetal frente a los insectos no está determinada exclusivamente por un mecanismo aislado, sino que generalmente resulta de la interacción de múltiples características defensivas de la planta. En este contexto, el desarrollo y utilización de variedades cultivadas con resistencia genética representa un componente esencial dentro del manejo integrado de áfidos, debido a que puede actuar de manera complementaria con otras estrategias de control, particularmente con la conservación y acción de enemigos naturales (Qureshi *et al.*, 2006).

En el caso del pulgón amarillo del sorgo *M. sorghi*, la identificación y utilización de híbridos o líneas de sorgo con niveles adecuados de resistencia constituye una alternativa estratégica para disminuir las pérdidas ocasionadas por la plaga, reducir la dependencia del control químico y conservar la calidad y productividad del grano y forraje (Van den Berg, 2002).

1.2.17. Mecanismos de resistencia genética.

En condiciones naturales, los patógenos y las plantas hospedantes suelen mantener un equilibrio ecológico que limita la magnitud de los daños ocasionados. Sin embargo, la intensificación de los sistemas agrícolas, caracterizada por el establecimiento de monocultivos y la adopción de prácticas agronómicas que reducen

la biodiversidad, altera dicho equilibrio y crea condiciones favorables para el incremento de las poblaciones de plagas y enfermedades, lo que incrementa el riesgo de pérdidas en los cultivos (Bustamante y Rivas, 1999). La resistencia genética de las plantas constituye un proceso complejo que resulta de las interacciones entre el hospedante, los insectos fitófagos, los microorganismos asociados y el ambiente. Estas interacciones pueden modificar el crecimiento, el estado nutricional y las respuestas fisiológicas de la planta, favoreciendo mecanismos naturales de defensa que incrementan la tolerancia al daño y contribuyen al manejo sostenible de las plagas. En este contexto, la asociación con microorganismos benéficos desempeña un papel relevante al inducir respuestas de resistencia y mejorar la capacidad de adaptación de las plantas frente al ataque de organismos fitófagos (Pozo *et al.*, 2004).

Van der Plank (1966) menciona que existen dos tipos de resistencia;

- Resistencia vertical; cuando las variedades del hospedero interactúan de manera diferencial o específica con las razas del patógeno.
- Resistencia horizontal; cuando la interacción entre razas del patógeno y el hospedero no es específica.

El concepto de resistencia vegetal fue definido por Painter (1951) como el conjunto de características hereditarias presentes en una planta que condicionan el grado de daño ocasionado por un insecto. Posteriormente, esta definición fue retomada y respaldada por Tocho *et al.* (2010), quienes señalan que la resistencia constituye una propiedad genética del hospedante que limita el establecimiento, desarrollo o impacto de los insectos fitófagos. Con base en este concepto, Painter (1951) estableció tres mecanismos fundamentales de resistencia vegetal frente a los insectos: antibiosis, antixenosis y tolerancia, mediante la cual la planta es capaz de soportar el daño sin presentar reducciones significativas en su crecimiento o rendimiento (Painter, 1951; Tocho *et al.*, 2010).

1.2.17.1. Antibiosis. La antibiosis es un mecanismo de resistencia genética mediante el cual un genotipo vegetal ejerce efectos adversos sobre la biología, el desarrollo y la capacidad reproductiva de los insectos fitófagos que se alimentan de él.

Sus efectos pueden manifestarse como un incremento en la mortalidad de los estados inmaduros, alteraciones en el desarrollo ninfal o larval, fallas durante la pupación o en la emergencia de los adultos, así como una disminución en la fecundidad, fertilidad y supervivencia de los individuos. Cuando la intensidad de este mecanismo es elevada, la tasa de crecimiento poblacional del insecto disminuye considerablemente, reduciendo el potencial de infestación y los daños al cultivo. Debido a su efecto directo sobre la aptitud biológica de la plaga, la antibiosis ha sido considerada uno de los mecanismos de resistencia más eficaces y de mayor importancia en los programas de mejoramiento genético orientados al manejo de insectos plaga (Smith, 1989; Tocho *et al.*, 2010).

1.2.17.2. Antixenosis (no preferencia). La antixenosis es un mecanismo de resistencia genética determinado por el conjunto de características morfológicas, físicas, químicas o fisiológicas del hospedante que modifican el comportamiento de los insectos fitófagos, reduciendo su preferencia por la planta. Este mecanismo puede afectar procesos como la localización del hospedante, la alimentación, el establecimiento, el apareamiento y la oviposición, limitando la aceptación de la planta como fuente de alimento o sitio de reproducción. En consecuencia, los insectos tienden a abandonar o evitar los genotipos que expresan este tipo de resistencia y a colonizar hospedantes más favorables. Como resultado, la densidad poblacional de la plaga disminuye en los genotipos resistentes, lo que se traduce en una menor incidencia y severidad del daño ocasionado al cultivo (Smith, 1989; Tocho *et al.*, 2010).

1.2.17.3. Tolerancia. La tolerancia es un mecanismo de resistencia genética definido como la capacidad inherente de una planta para soportar el daño ocasionado por un insecto fitófago, recuperarse mediante la producción de nuevos tejidos y mantener un crecimiento y rendimiento satisfactorio a pesar de la infestación. Un genotipo se considera tolerante cuando, bajo un mismo nivel de ataque, presenta un desempeño agronómico superior al de un genotipo susceptible, reflejado en una menor reducción del crecimiento, el desarrollo o el rendimiento. A diferencia de la antibiosis y la antixenosis, la tolerancia no modifica el comportamiento de colonización, la alimentación, el desarrollo ni la reproducción del insecto; su efecto se limita a

incrementar la capacidad de la planta para compensar los daños ocasionados por la plaga, favoreciendo la conservación de su productividad (Smith, 1989; Tocho *et al.*, 2010).

García *et al.* (2023) evaluaron el efecto de la antibiosis y antixenosis en especies silvestres y cultivos comerciales de tomate hacia *B. cockerelli*, y su relación con la presencia y tipo de tricomas foliares, donde mencionan a *Solanum habrochaites* contra *B. cockerelli* incluyen mecanismo de defensa de antibiosis y antixenosis, lo que indica que estas accesiones son fuentes potenciales para ser utilizadas en programas de mejoramiento genético por presentar buenos factores de resistencia.

Haider *et al.* (2021), al evaluar los mecanismos de resistencia por antixenosis y antibiosis en genotipos de arroz frente a *Sogatella furcifera* (Hemiptera: Delphacidae), identificaron al genotipo RPP49 como una fuente promisoría de resistencia. Los autores reportaron que este material expresó niveles favorables de resistencia frente al insecto, por lo que concluyeron que constituye un recurso genético de alto valor para su incorporación en programas de mejoramiento orientados al desarrollo de variedades con resistencia durable a esta plaga (Haider *et al.*, 2021).

Rodrigues *et al.* (2025) evaluaron la preferencia de hospederos de *Sitophilus zeamais* en semillas de genotipos de maíz almacenados, donde mencionan al genotipo Púrpura con la menor preferencia (4.1%) y al genotipo AG1051 con un 8.3%, donde mencionan que estos genotipos presentaron antixenosis debido al efecto de las propiedades nutricionales y dureza física de la semilla.

Perales-Rosas *et al.* (2019) evaluaron la antibiosis, antixenosis y tolerancia en híbridos de sorgo, donde mencionan al híbrido Ámbar como el híbrido que presentó mayor antibiosis, antixenosis y tolerancia, quienes mencionan que estos resultados deben considerarse en programas de mejoramiento genético para el control de *M. sacchari/sorgho*.

Pecina *et al.* (2021) evaluaron la respuesta de 80 genotipos de sorgo frente al pulgón amarillo del sorgo con el propósito de identificar materiales con capacidad de tolerancia a esta plaga. Los autores identificaron cuatro híbridos, Apache, BRS-70, Águila Real e Icaro, que presentaron un nivel de tolerancia intermedio o moderado. Asimismo, señalaron que la utilización de estos genotipos podría contribuir al manejo integrado del pulgón amarillo al permitir manejar de una mejor manera el umbral de daño económico, reduciendo la necesidad y frecuencia de aplicaciones de insecticidas y favoreciendo una producción más sostenible (Pecina *et al.*, 2021).

Payán *et al.* (2021) evaluaron la relación entre la actividad de antibiosis y el contenido de polifenoles en diferentes cultivares de sorgo con el objetivo de identificar fuentes de resistencia a *Melanaphis sacchari*. Los autores determinaron que los híbridos DKS 2805 y DKS26 presentaron los mayores niveles de resistencia, atribuibles a una elevada expresión de antibiosis y a un mayor contenido de compuestos fenólicos. Estos resultados indican que dichos híbridos constituyen una valiosa fuente de resistencia genética y representan una alternativa para fortalecer los programas de mejoramiento y el manejo integrado de esta plaga, al contribuir a reducir la dependencia del control químico y promover estrategias de producción más sostenibles (Payán *et al.*, 2021).

1.3. JUSTIFICACIÓN.

El cultivo de sorgo es de suma importancia en el ámbito estatal, regional y nacional. Es por ello que se propone determinar los mecanismos de resistencia vegetal de genotipos avanzados de sorgo del programa de mejoramiento genético del cultivo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) del Campo Experimental Valle de Culiacán (CEVACU). Los resultados obtenidos tendrán un impacto directo sobre el manejo integrado del pulgón amarillo del sorgo, para reducir pérdida de grano y la calidad forrajera del cultivo, así como para reducir costos del cultivo, en las superficies sembradas de riego y especialmente en temporal, donde la plaga significa un problema más serio, por las condiciones ambientales en las que se desarrolla el cultivo.

1.4. HIPÓTESIS

Existe al menos un genotipo de sorgo que presenta algún mecanismo de resistencia genética que le permite resistir el daño de la plaga *M. sorghi*, sin implementar ninguna medida de control.

1.5. OBJETIVO GENERAL

Evaluar las características agronómicas, morfológicas y fisiológicas de 10 genotipos avanzados de sorgo del INIFAP, para determinar sus mecanismos de resistencia sobre *Melanaphis sorghi* (T.).

1.5.1 Objetivos específicos

- Caracterizar agronómicamente 10 genotipos avanzados de sorgo.
- Estimar la tolerancia en 10 genotipos avanzados de sorgo como mecanismo de resistencia contra *M. sorghi*.
- Determinar la antixenosis en 10 genotipos avanzados de sorgo como mecanismo de resistencia contra *M. sorghi*.

CAPÍTULO 2.- CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA DE LÍNEAS AVANZADAS F7 DE SORGO (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) EN EL CENTRO DE SINALOA

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.

keywords: Characterization, yield, forage, grain.

2.1. 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 accesión, 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.

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1. 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 el Cuadro 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 (PV) 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.

Cuadro 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

2.2.2. Conducción del experimento

La fase de campo se estableció bajo condiciones de riego durante los ciclos agrícolas Otoño-Invierno (OI) 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 fosforo 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.

2.2.3. 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 Cuadro 2.

Cuadro 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, en la parte central de la planta (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.

2.2.4 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).

2.3. 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 % (Cuadro 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).

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 (°Brix) se puede observar en el cuadro 3 que no hubo diferencias significativas, sin embargo, la línea BT09T9B presentó los valores más altos (13.4 °Brix) y las líneas BT09E8AR y BT09E1GB presentaron los valores más bajos de °Brix 11.1. Elangovan *et al.* (2014) y Yücel *et al.* (2022) mencionan que para la selección de genotipos con buena producción de °Brix es fundamental que los sorgos presenten valores de azúcar en el jugo entre el 12.4 a 24 °Brix.

Cuadro 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 ^{±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; $p \leq 0.05$).

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 BT09E8B 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.

2.4. 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.

CAPÍTULO 3. TOLERANCIA AL PULGÓN AMARILLO DEL SORGO (*Melanaphis sorghi* (THEOBALD) HEMIPTERA: APHIDIDAE) EN GENOTIPOS AVANZADOS DE SORGO EN SINALOA

RESUMEN

En México, el cultivo de sorgo ha visto afectada su producción por la presencia del pulgón amarillo del sorgo (*Melanaphis sorghi*), esta plaga afecta a la planta al succionar su savia, reduciendo la fotosíntesis y propiciando el hongo de la fumagina. El control principalmente se ha basado en agroquímicos. Ante esto, el uso de genotipos tolerantes surge como una alternativa sostenible, la resistencia vegetal se clasifica en antibiosis, antixenosis y tolerancia; esta última permite que la planta mantenga su rendimiento a pesar de la infestación y el daño, gracias a sus características morfológicas. El objetivo fue evaluar el nivel de tolerancia o susceptibilidad al pulgón amarillo del sorgo en genotipos avanzados generados por el INIFAP en Sinaloa. Se evaluaron diez genotipos bajo condiciones de riego en Culiacán, Sinaloa, durante los ciclos agrícolas PV 2023 y 2024. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, el manejo agronómico utilizado fue el sugerido para el cultivo de sorgo en Sinaloa. Las variables principales fueron infestación (conteo de áfidos), severidad de daño (escala 1-9) e Índice de Daño Relativo (IDR) para clasificar los genotipos en resistentes, moderadamente resistentes o susceptibles. Se realizó un análisis de varianza y la separación de medias para la diferenciación estadística de los genotipos evaluados, con el paquete estadístico SAS. El estudio muestra diferencias significativas en la respuesta de los genotipos al pulgón amarillo. Los genotipos BT09T9B y BT09T9R presentaron moderada tolerancia y alto potencial de rendimiento, lo que nos indica que pueden ser considerados como genotipos clave para programas de mejoramiento genético. El genotipo BT09T5 presentó una baja preferencia y severidad de daño lo que nos confirma que existe antixenosis, y no tolerancia fisiológica como mecanismo de resistencia.

Palabras clave: *M. Sorghi*, sorgo, tolerancia.

ABSTRACT

In Mexico, sorghum cultivation has seen its production affected by the presence of the yellow sorghum aphid (*Melanaphis sorghi*); this pest affects the plant by sucking its sap, reducing photosynthesis and promoting sooty mold fungus. Control has mainly been based on agrochemicals. In this context, the use of tolerant genotypes emerges as a sustainable alternative; plant resistance is classified into antibiosis, antixenosis, and tolerance; the latter allows the plant to maintain its yield despite the infestation, thanks to its morphological characteristics. The goal was to assess the level of tolerance or susceptibility to the yellow sorghum aphid in advanced genotypes developed by INIFAP in Sinaloa. Ten advanced lines were evaluated under irrigation conditions in Culiacan, Sinaloa, during the 2023 and 2024 agricultural cycle. A completely randomized block design with four replications was used, and the agronomic management applied was that suggested for sorghum cultivation in Sinaloa. The main variables were infestation (aphid count), damage severity (scale 1-9), and Relative Damage Index (RDI) to classify the genotypes as resistant, moderately resistant, or susceptible. An analysis of variance and mean separation were carried out for the statistical differentiation of the evaluated genotypes, using the SAS statistical package. The study shows significant differences in the response of the genotypes to the yellow aphid. The BT09T9B and BT09T9R genotypes showed moderate tolerance and high yield potential, which indicates that they can be considered key genotypes for breeding programs. The BT09T5 genotype showed a low preference and severity of damage, which confirms that antixenosis exists, and not physiological tolerance, as a resistance mechanism.

Keywords: *M. Sorghi*, sorghum, tolerance.

3.1. INTRODUCCIÓN

El sorgo constituye uno de los cereales de mayor importancia a nivel mundial debido a su diversidad de usos en la alimentación humana y animal, así como por su capacidad de adaptarse a condiciones ambientales adversas. Su elevada tolerancia al déficit hídrico y a las altas temperaturas ha favorecido su establecimiento como un cultivo estratégico en regiones áridas y semiáridas, donde otros cereales presentan limitaciones productivas (Rooney, 2004). En México, este cultivo desempeña un papel relevante dentro de la cadena agroalimentaria por su amplia adaptación a estas condiciones agroecológicas; sin embargo, su productividad se encuentra restringida por diversos factores bióticos, entre los que destaca el pulgón amarillo del sorgo (PAS). Inicialmente esta plaga fue identificada como *Melanaphis sacchari* (Zehntner), de acuerdo con Rodríguez del Bosque y Terán (2015); no obstante, estudios basados en evidencia morfológica y molecular realizados posteriormente por Harris *et al.* (2022) y Nibouche *et al.* (2021) demostraron que la especie que actualmente afecta al sorgo corresponde a *Melanaphis sorghi* (Theobald), por lo que esta denominación es la aceptada en la literatura científica reciente.

La colonización del pulgón amarillo del sorgo sobre su planta hospedera comienza generalmente en el envés de las hojas, donde ninfas y adultos se alimentan del floema mediante la extracción continua de savia. Esta actividad provoca daños directos que se manifiestan en el debilitamiento fisiológico de la planta, clorosis, disminución de la capacidad fotosintética y, en infestaciones severas, marchitez e incluso muerte de los tejidos. De manera simultánea, la plaga ocasiona daños indirectos debido a la excreción de mielecilla, un sustrato que favorece el desarrollo de hongos del complejo conocido como fumagina, los cuales cubren la superficie foliar, reducen la interceptación de la luz y limitan aún más la fotosíntesis. En conjunto, estos efectos deterioran el crecimiento y desarrollo del cultivo, ocasionando reducciones importantes en el rendimiento y la calidad del grano (Bowling *et al.*, 2016; Singh *et al.*, 2004).

La presencia del (PAS) en México se documentó por primera vez en noviembre de 2013 en cultivos de sorgo establecidos en el estado de Tamaulipas. Posteriormente, durante 2014, la plaga amplió rápidamente su distribución geográfica y fue reportada

en los estados de Coahuila, Nuevo León, Guanajuato, Nayarit, Sinaloa y Veracruz, lo que evidenció su alto potencial de dispersión y establecimiento en las principales zonas productoras de sorgo del país (Rodríguez del Bosque y Terán, 2015). En el caso específico de Sinaloa, ese mismo año se confirmó su presencia infestando sorgo forrajero, además de colonizar socas de sorgo, plantas voluntarias y zacate Johnson, especies que actúan como hospederos alternos y favorecen la permanencia de las poblaciones del insecto entre ciclos agrícolas (CESAVESIN, 2014).

El manejo del pulgón amarillo del sorgo se ha sustentado principalmente en la aplicación de insecticidas químicos como estrategia para reducir sus poblaciones y limitar las pérdidas ocasionadas al cultivo (Rodríguez del Bosque y Terán, 2015). No obstante, la dependencia de este método de control presenta diversas limitaciones, entre las que destacan el incremento de los costos de producción, los efectos adversos sobre el ambiente y la salud humana, así como la presión de selección que favorece el desarrollo de poblaciones resistentes a los ingredientes activos utilizados, comprometiendo la eficacia del control químico a largo plazo (Hernández *et al.*, 2023; Villanueva y Sekula, 2014).

Como alternativa al control químico, diversos estudios han evaluado genotipos de sorgo con el propósito de identificar fuentes de resistencia al pulgón amarillo del sorgo, demostrando que el uso de materiales resistentes o tolerantes constituye una de las estrategias más eficientes y sostenibles para el manejo de esta plaga (Armstrong *et al.*, 2015; Padmaja, 2016; Perales-Rosas *et al.*, 2019; Van den Berg, 2002). La resistencia de las plantas a los insectos herbívoros se clasifica tradicionalmente en tres mecanismos: antibiosis, que afecta la supervivencia, el desarrollo o la reproducción del insecto; antixenosis (no preferencia) y tolerancia, definida como la capacidad de la planta para mantener su crecimiento, desarrollo y productividad a pesar del daño ocasionado por la infestación (Howe y Jader, 2008; Painter, 1951; Wu y Baldwin, 2009).

Entre estos mecanismos, la tolerancia representa una característica de gran interés para los programas de mejoramiento genético, ya que permite minimizar las pérdidas en rendimiento sin ejercer una fuerte presión de selección sobre las

poblaciones del insecto. Este mecanismo se expresa mediante la capacidad de la planta para compensar el daño causado por la alimentación del insecto, manteniendo un desempeño agronómico aceptable aún bajo condiciones de infestación (Painter, 1951; Tocho *et al.*, 2010). En sorgo, la tolerancia se ha asociado con diversos atributos morfológicos y fisiológicos, entre ellos el tamaño y grosor de las hojas, la altura de la planta, la coloración del follaje y otras características estructurales que limitan el impacto del ataque del pulgón (Patil *et al.*, 2006). Asimismo, es importante destacar que un mismo genotipo puede expresar simultáneamente dos o más mecanismos de resistencia, lo que incrementa su eficacia frente a la plaga y favorece una resistencia más estable y duradera.

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar la tolerancia (resistencia vegetal) al pulgón amarillo (*M. sorghi*) en genotipos avanzados de sorgo generados por el INIFAP, en Sinaloa, con el fin de identificar materiales que presenten potencial para ser utilizados en programas de mejoramiento genético y producción comercial, así como a contribuir en el manejo de esta plaga y al fortalecimiento de la producción de sorgo en la región.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1. Material genético utilizado

Para este estudio, se eligieron diez genotipos avanzados de sorgo desarrollados en el programa de mejoramiento genético del Campo Experimental Valle de Culiacán (CEVACU) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Estos genotipos, se identifican a continuación: BT09T9B, BT09E8B, BT09E8R, BT09E8AB, BT09E8AR, BT09E1GR, BT09E8 R2, BT09T5, BT09T9R y BT09E1GB, fueron generados a través de métodos de selección enfocados en optimizar sus características agronómicas.

3.2.2. Conducción del experimento

La evaluación en campo se llevó a cabo bajo condiciones de riego durante los ciclos agrícolas primavera-verano (PV) 2023 y 2024 en el Campo Experimental Valle de Culiacán (CEVACU) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el municipio de Culiacán, Sinaloa, México. Este sitio experimental se localiza en la región central del estado, entre los meridianos 106°56'50" y 107°50'15" de longitud oeste y los paralelos 24°02'10" y 25°14'56" de latitud norte. El municipio presenta una altitud promedio de 54 m sobre el nivel del mar y un clima seco semicálido, con una temperatura media anual que oscila entre 23 y 26 °C y una precipitación acumulada de 400 a 600 mm por año, condiciones representativas de las principales zonas productoras de sorgo del estado de Sinaloa (INEGI, 2025; Rendón, 1995).

Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con diez tratamientos (genotipos) 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 en la segunda quincena del mes de febrero, con una densidad de 18 kg de semilla por ha, equivalente de 26-28 semillas por metro lineal, la semilla utilizada en el experimento no fue tratada con ningún insecticida contra el PAS, y tampoco se realizó algún método de control

para el PAS durante el desarrollo del cultivo, (cabe hacer mención que se estableció otro ensayo como testigo con todas las medidas de control, sin embargo como no se presentó daño del pulgón amarillo, no se presentan los datos del testigo). Se utilizó una dosis de fertilización de 180-40-00 (N-P-K), como fuentes de nitrógeno se utilizó la Urea (46-00-00) y para el fosforo el DAP (18-46-00), 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.

3.2.3. Variables evaluadas

Con el propósito de estimar el nivel de daño ocasionado por la infestación del pulgón amarillo del sorgo (PAS), en cada repetición experimental se seleccionaron aleatoriamente 20 plantas representativas de cada genotipo, las cuales fueron identificadas y marcadas para realizar su seguimiento durante todo el ciclo del cultivo. A partir de la emergencia de las plantas, las evaluaciones se efectuaron a intervalos de 10 días, mediante un monitoreo periódico que permitió registrar la evolución de la infestación y la respuesta de cada genotipo al ataque del insecto.

La **infestación de *Melanaphis sorghi*** se cuantificó utilizando la metodología propuesta por Bowling *et al.* (2015), la cual comprende el protocolo de muestreo (PM) y el monitoreo rápido del pulgón (MRP). En cada fecha de evaluación se inspeccionaron dos hojas por planta (una hoja inferior y una superior) de las plantas previamente seleccionadas, registrando el número de áfidos presentes. Conforme a esta metodología, la categoría A correspondió a infestaciones de hasta 12 áfidos por hoja, mientras que la categoría F representó infestaciones de 1 500 áfidos por hoja. Para cada evaluación se calculó el promedio de áfidos por hoja y, posteriormente, el promedio por parcela se obtuvo dividiendo el número total de áfidos contabilizados entre el total de hojas examinadas.

Área foliar se realizó siguiendo la metodología descrita por Roberti *et al.* (2014), la cual se obtuvo midiendo la longitud máxima de la hoja desde la base del tallo hasta el extremo de la nervadura central, y el ancho de las hojas se consideró de manera perpendicular en el centro de la hoja, mediante una cinta métrica. Al final, se multiplicó el Largo x Ancho x 0.75 (0.75 es un factor de corrección debido a que las hojas no son

rectangulares perfectas, estas suelen ser elípticas lanceoladas y ocupa el 75% de ese rectángulo) y finalmente se obtuvo el área foliar.

Grosor de hoja se midió con la ayuda de un vernier digital marca Sunsign (modelo 5HA500) en tres alturas de la planta (alto, medio y bajo), posteriormente se calculó el promedio de las tres mediciones.

Grados brix Se utilizó un refractómetro de la marca Atago (modelo 300001), en la etapa de grano lechoso-masoso, en 20 plantas por repetición (Prasad *et al.*, 2007).

Rendimiento de grano se determinó mediante la cosecha manual de las plantas previamente evaluadas para las variables agronómicas descritas. La cosecha se realizó cuando el grano alcanzó aproximadamente 14 % de humedad, condición considerada adecuada para garantizar una estimación confiable del rendimiento y minimizar pérdidas durante el proceso de recolección.

Severidad de daño ocasionado por *M. sorghi* se evaluó mediante la escala visual de nueve categorías propuesta por Sharma *et al.* (2013). En esta escala, el valor 1 corresponde a plantas con una infestación mínima, caracterizada por la presencia de pocos áfidos en una o dos hojas inferiores y ausencia de síntomas visibles de daño. En contraste, el valor 9 representa una infestación severa, con colonización de pulgones hasta la hoja bandera, más del 80 % del área foliar afectada y una abundante acumulación de mielecilla acompañada por un recubrimiento casi total de fumagina sobre las hojas y la superficie del suelo. Los valores intermedios reflejan incrementos graduales en la intensidad de la infestación y en la severidad del daño ocasionado por la plaga.

Con base en los valores de severidad del daño registrados durante las evaluaciones, los genotipos se clasificaron de acuerdo con la metodología propuesta por Wang *et al.* (2005). Para ello, se calcularon el **índice de daño (ID)** y el **índice de daño relativo (IDR)**, parámetros que permiten cuantificar el nivel de afectación ocasionado por *Melanaphis sorghi* y establecer categorías de respuesta de los genotipos frente a la infestación. Ambos índices se estimaron utilizando la siguiente formula:

$$ID = \sum \frac{\text{escala de daño} \times \text{número de plantas dentro de la escala}}{\text{número total de plantas} \times \text{valor de la escala más alta dentro del grupo}}$$

IDR= ID del genotipo / ID del genotipo testigo, para esto se consideró al genotipo BT09E1GR, como testigo (mayor susceptibilidad en los experimentos realizados). El IDR se utilizó para clasificar a los genotipos; si el IDR es >0.40 se considera susceptible (S), si es de $0.25 \leq \text{IDR} \leq 0.40$ se clasifica como medianamente resistente (MR) y si presenta un $\text{IDR} < 0.25$ el genotipo se considera resistente (R).

3.2.4. 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).

3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 4 se muestran los resultados correspondientes a la dinámica de infestación de *M. sorghi* en los genotipos de sorgo evaluados. El análisis estadístico evidenció diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los materiales genéticos, lo que indica una respuesta diferencial de los genotipos ante la colonización y desarrollo poblacional del áfido. El genotipo BT09E8R registró la mayor susceptibilidad al presentar la densidad poblacional más elevada, con un promedio de 681 individuos por planta. De manera similar, los genotipos BT09E1GR y BT09E8 R2 mostraron altos niveles de infestación, con promedios de 664 y 646 pulgones, respectivamente. En contraste, el genotipo BT09T5 presentó la menor acumulación poblacional, con un promedio de 299 pulgones, lo que sugiere la presencia de características asociadas con una mayor resistencia o menor aptitud del insecto para establecerse y reproducirse sobre este material genético.

Singh *et al.* (2004) señalan que durante el desarrollo fenológico del cultivo de sorgo ocurren modificaciones fisiológicas y bioquímicas que pueden influir directamente en la capacidad reproductiva y tasa de crecimiento poblacional de los áfidos. Bajo condiciones favorables, estas variaciones pueden favorecer un incremento exponencial de la población, alcanzando densidades superiores a 30,000 individuos por planta. En la presente investigación, los niveles de infestación registrados oscilaron entre 299 pulgones en el genotipo BT09T5 y 681 pulgones en BT09E8R, valores que evidencian una variación significativa en la capacidad de establecimiento y reproducción de *M. sorghi* entre los materiales evaluados (Cuadro 4). Las densidades poblacionales obtenidas se encuentran dentro del rango reportado en estudios previos realizados con genotipos de sorgo. Pecina *et al.* (2021) documentaron infestaciones de 162 a 852 pulgones por hoja, mientras que Payán *et al.* (2020) registraron poblaciones menores, con valores de 13.3 a 482.3 pulgones por hoja. Las diferencias entre investigaciones pueden atribuirse a diversos factores, entre ellos la susceptibilidad genética de los materiales evaluados, la etapa fenológica del cultivo, las condiciones ambientales predominantes durante el experimento y la interacción entre el insecto y los mecanismos de resistencia expresados por la planta. De acuerdo

con Sharma *et al.* (2014), la variabilidad en la infestación de áfidos entre genotipos de sorgo está estrechamente relacionada con la presencia de características morfológicas y componentes bioquímicos que pueden limitar la alimentación, reproducción y supervivencia del insecto.

De acuerdo con Deutsch (1989), la aceptación de nuevos genotipos de sorgo por parte de los agricultores está ligada, principalmente a su potencial de rendimiento. Si bien la capacidad de resistir ataques de plagas es un factor relevante en la evaluación de genotipos, los especialistas mencionan que la tolerancia a plagas no basta para justificar una recomendación técnica si el cultivo no garantiza niveles óptimos de producción.

Cuadro 4. Infestación de *Melanaphis sorghi*, área foliar, grosor de hoja, grados Brix, rendimiento de grano, $\pm$ error estándar en genotipos evaluados de sorgo.

Genotipo	Infestación de <i>M. sorghi</i>	Área foliar (cm ²)	Grosor de hojas (mm)	°Brix	Rendimiento de grano t ha ⁻¹
BT09T9B	562.3 $\pm$ 82.8 ^{abβ}	408.7 $\pm$ 42 ^{bc}	0.96 $\pm$ 0.1 ^a	11.1 $\pm$ 1.6 ^{ab}	3.86 $\pm$ 0.13 ^a
BT09E8B	549.6 $\pm$ 129 ^{ab}	504.4 $\pm$ 43.3 ^a	0.91 $\pm$ 0.1 ^a	10.1 $\pm$ 1.5 ^b	2.92 $\pm$ 0.05 ^{cd}
BT09E8R	681.4 $\pm$ 122.5 ^a	453.2 $\pm$ 40 ^{ab}	0.94 $\pm$ 0.1 ^a	12.7 $\pm$ 2.5 ^a	2.73 $\pm$ 0.10 ^e
BT09E8AB	484.5 $\pm$ 115.6 ^{bc}	501.1 $\pm$ 47.4 ^a	0.97 $\pm$ 0.1 ^a	11.3 $\pm$ 0.9 ^{ab}	3.09 $\pm$ 0.03 ^b
BT09E8AR	536.9 $\pm$ 107.5 ^{ab}	405.4 $\pm$ 47.1 ^{bc}	1.02 $\pm$ 0.1 ^a	11.4 $\pm$ 0.7 ^{ab}	3.11 $\pm$ 0.06 ^b
BT09E1GR	664.9 $\pm$ 114.6 ^{ab}	422.3 $\pm$ 53.7 ^{bc}	0.97 $\pm$ 0.2 ^a	11.5 $\pm$ 1.3 ^{ab}	3.0 $\pm$ 0.13 ^b
BT09E8 R2	646.9 $\pm$ 104.4 ^{ab}	492.2 $\pm$ 29.2 ^a	0.98 $\pm$ 0.1 ^a	10.9 $\pm$ 1.2 ^{ab}	3.0 $\pm$ 0.12 ^{bc}
BT09T5	299.5 $\pm$ 66 ^c	502.6 $\pm$ 44.6 ^a	0.93 $\pm$ 0.1 ^a	12.1 $\pm$ 1.6 ^{ab}	3.87 $\pm$ 0.12 ^a
BT09T9R	614.0 $\pm$ 122.4 ^{ab}	392.0 $\pm$ 24.9 ^{bc}	0.98 $\pm$ 0.1 ^a	11.7 $\pm$ 1.2 ^{ab}	3.87 $\pm$ 0.09 ^a
BT09E1GB	584.6 $\pm$ 230.5 ^{ab}	371.3 $\pm$ 39.8 ^c	0.98 $\pm$ 0.1 ^a	12.3 $\pm$ 1.2 ^{ab}	2.84 $\pm$ 0.07 ^{de}

^{β} Medias con la misma letra en la columna son estadísticamente iguales (tukey $p < 0.05$)

Para la variable área foliar se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los genotipos evaluados, evidenciando una respuesta diferencial en el desarrollo vegetativo de los materiales de sorgo. El genotipo BT09E8B presentó la mayor área foliar, con un valor promedio de 504.4 cm²; no obstante, este comportamiento no mostró diferencias estadísticas respecto a los genotipos BT09T5, BT09E8AB, BT09E8

R2 y BT09E8R, los cuales registraron áreas foliares de 502.6, 501.1, 492.2 y 453.2 cm², respectivamente (Cuadro 4). En contraste, el genotipo BT09E1GB presentó la menor superficie foliar, con un promedio de 371.3 cm², lo que indica una menor capacidad de desarrollo foliar bajo las condiciones experimentales evaluadas.

Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por Payán *et al.* (2020) y Perales-Rosas *et al.* (2019), quienes señalaron que el área foliar puede estar relacionada con la respuesta del sorgo frente a la infestación por *M. sorghi*, debido a que las características del dosel vegetal pueden modificar las condiciones de establecimiento, alimentación y desarrollo poblacional del insecto. En este estudio, el genotipo BT09T5 presentó una de las mayores áreas foliares (502.6 cm²) y, simultáneamente, la menor infestación del pulgón amarillo del sorgo (299 individuos), lo que sugiere que una mayor biomasa foliar no necesariamente representa una mayor susceptibilidad al ataque del áfido (Cuadro 4). Esta respuesta podría estar asociada con la expresión de mecanismos de resistencia genética, como antibiosis o tolerancia, que permiten mantener el crecimiento vegetativo aún bajo presión del insecto. De acuerdo con Sharma *et al.* (2014), algunos genotipos de sorgo pueden conservar su capacidad fotosintética y desarrollo foliar mediante mecanismos fisiológicos que reducen el impacto del daño ocasionado por los áfidos.

En relación con la variable grosor de hoja, el análisis estadístico no mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los genotipos evaluados, lo que indica que esta característica presentó un comportamiento relativamente estable entre los materiales de sorgo estudiados. El mayor grosor de hoja se registró en el genotipo BT09E8AR, con un valor promedio de 1.02 mm, mientras que el menor valor correspondió al genotipo BT09E8B, con 0.91 mm, representando una diferencia de apenas 0.11 mm entre ambos extremos (Cuadro 4). Esta reducida variabilidad sugiere que el grosor de la lámina foliar no fue un factor determinante en la diferenciación de la respuesta de los genotipos frente a *M. sorghi* bajo las condiciones del presente estudio. Estos resultados coinciden con lo reportado por Payán *et al.* (2020), quienes evaluaron diferentes genotipos de sorgo y encontraron valores de grosor foliar entre 0.90 y 1.27 mm, sin detectar diferencias estadísticas significativas para esta variable.

De acuerdo con Sharma *et al.* (2014), aunque las características morfológicas de la planta pueden influir en los mecanismos de resistencia contra insectos fitófagos, su efecto depende de la magnitud de la variación genética presente entre los materiales evaluados y de la interacción con otros factores, como los componentes bioquímicos de la planta. Por lo tanto, la ausencia de diferencias en el grosor foliar observada en este estudio indica que esta característica probablemente tuvo una contribución limitada en la resistencia expresada por los genotipos de sorgo hacia *M. sorghi*.

Para la variable contenido de sólidos solubles totales, expresado como grados Brix (°Brix), se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los genotipos evaluados, evidenciando una respuesta diferencial en la concentración de azúcares presentes en los tejidos vegetales (Cuadro 4). El genotipo BT09E8R presentó el mayor contenido de sólidos solubles, con un promedio de 12.7 °Brix, mientras que BT09E8B registró el valor más bajo, con 10.1 °Brix. Esta variación indica que existen diferencias genéticas entre los materiales de sorgo en la acumulación de carbohidratos solubles, característica que puede influir en la interacción planta-insecto. Los resultados obtenidos coinciden con lo señalado por Schlickmann *et al.* (2020), quienes evaluaron la relación entre la fertilización y la dinámica poblacional del pulgón amarillo del sorgo, encontrando una asociación positiva entre la densidad del insecto y el incremento en componentes nutricionales de la planta, como proteínas solubles totales, azúcares solubles (°Brix) y concentración de nitrógeno. En concordancia con estos antecedentes, en la presente investigación el genotipo BT09E8R presentó simultáneamente los mayores valores de sólidos solubles (12.7 °Brix) y la mayor infestación de *M. sorghi* (681.4 pulgones), lo que sugiere que una mayor disponibilidad de compuestos nutritivos en los tejidos vegetales puede favorecer el establecimiento y reproducción del áfido.

Para la variable rendimiento de grano se puede observar que se presentaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.05$) donde los genotipos BT09T5, BT09T9R y BT09T9B, fueron las que presentaron los valores de rendimiento más altos 3.87 t ha⁻¹ para los primeros dos genotipos y 3.86 t ha⁻¹ para BT09T9B. En los genotipos BT09E8R y BT09E1GB el rendimiento de grano fue inferior en 1.14 y 1.03 t ha⁻¹

respecto a los genotipos con mayor rendimiento. Pecina *et al.* (2020) en estudios realizados sobre la tolerancia al pulgón amarillo mencionan rendimientos de grano de hasta 10 t ha⁻¹ en genotipos altamente tolerantes y rendimiento de 6.5 a 7.7 en genotipos medianamente susceptibles, resultados superiores a los presentados en esta investigación, la diferencia de estos resultados puede ser atribuido a que Pecina *et al.* (2020) evaluaron híbridos comerciales y en esta investigación son variedades de polinización libre. Payán *et al.* (2020) reportan rendimientos de 3.4 a 6.5 t ha⁻¹ en genotipos resistentes y rendimientos de 4.7 a 5.3 t ha⁻¹ en genotipos medianamente resistentes, lo que concuerda con los datos obtenidos en los genotipos BT09T9B y BT09T9R quienes presentan rendimiento de grano de 3.8 t ha⁻¹ y medianamente resistentes, similares a la variedad Perla 101 que presentó 3.4 t ha⁻¹ y fue clasificada como resistente (Payán *et al.*, 2020).

En el (Cuadro 4) se presentan los resultados de rendimiento de grano de los genotipos evaluados, donde se observa que BT09T5, BT09T9R y BT09T9B registraron los mayores valores productivos, además de manifestar una menor afectación ante la infestación de *M. sorghi*, lo que evidencia una respuesta favorable de estos materiales bajo presión del insecto. Estos resultados coinciden con lo reportado por Gastélum *et al.* (2016), Payán *et al.* (2020) y Pecina *et al.* (2021), quienes, al evaluar diferentes genotipos de sorgo, identificaron materiales con alto potencial de rendimiento asociados con una mayor tolerancia al ataque de *M. sorghi*. Los autores señalan que la tolerancia representa un mecanismo importante de resistencia, debido a que permite a la planta compensar el daño ocasionado por el insecto mediante la conservación de procesos fisiológicos esenciales, como la actividad fotosintética, producción de biomasa y formación de grano. En este sentido, los genotipos BT09T5, BT09T9R y BT09T9B representan materiales de interés para programas de mejoramiento genético orientados al desarrollo de variedades productivas y con resistencia durable al pulgón amarillo del sorgo.

El análisis de varianza para la variable severidad de daño (Cuadro 5) mostró diferencias altamente significativas ($p \leq 0.05$) entre los genotipos evaluados, lo que evidencia una respuesta diferencial al ataque de *M. sorghi*. La variación observada en

los niveles de daño confirma la existencia de diferencias en el grado de susceptibilidad o resistencia de los materiales, resultado que coincide con lo señalado por Painter (1951) quien indica que la expresión de la resistencia genética puede manifestarse mediante una menor infestación, reducción del daño o una mejor capacidad de la planta para soportar el ataque del insecto.

De acuerdo con la escala de severidad propuesta por Sharma *et al.* (2013), el genotipo BT09T5 se clasificó en la categoría 2, correspondiente a una infestación restringida a una o dos hojas inferiores y una afectación de únicamente 1 a 20 % del área foliar. Este comportamiento sugiere que dicho material limitó el establecimiento y desarrollo de las colonias del pulgón, reduciendo la acumulación de mielecilla y la posterior formación de fumagina, características comúnmente asociadas con genotipos que presentan mecanismos de resistencia. En contraste, el genotipo BT09E8AB se ubicó en la categoría 3, al presentar infestación en dos o tres hojas inferiores y daños de 20 a 30 % del área foliar, lo que indica un nivel intermedio de afectación. Los genotipos BT09T9B, BT09E8B, BT09E8AR, BT09T9R y BT09E1GB fueron clasificados en la categoría 4, caracterizada por infestaciones en tres o cuatro hojas y daños que oscilaron entre 30 y 40 % del área foliar, además de una acumulación moderada de mielecilla y fumagina en las hojas inferiores.

Por su parte, el genotipo BT09E8R2 fue clasificado en la categoría 5, al registrar infestaciones que alcanzaron entre cuatro y cinco hojas y daños de 40 a 50 % del área foliar, acompañados por abundante mielecilla y fumagina. Finalmente, los genotipos BT09E82 y BT09E1GR presentaron la mayor severidad de daño, ubicándose en la categoría 6, debido a que la infestación se extendió hasta la sexta hoja y afectó entre 50 y 60 % del área foliar. Además, estos materiales mostraron una elevada acumulación de mielecilla y fumagina tanto en las hojas como sobre la superficie del suelo, síntomas característicos de genotipos altamente susceptibles al pulgón amarillo, en los cuales el rápido crecimiento poblacional del insecto favorece la extracción continua de savia y la excreción de grandes cantidades de mielecilla, disminuyendo la capacidad fotosintética y el desarrollo de las plantas (Armstrong *et al.*, 2015; Bowling *et al.*, 2016;). La menor severidad registrada en BT09T5 y, en menor grado, en

BT09E8AB, sugiere que estos genotipos poseen atributos que restringen el establecimiento o el crecimiento poblacional de *M. sorghi*, mientras que BT09E8R y BT09E1GR evidenciaron una elevada susceptibilidad al permitir una rápida colonización del insecto. Estos resultados concuerdan con los reportados por Armstrong *et al.* (2015), Bowling *et al.* (2016), y Perales-Rosas *et al.* (2020), quienes señalan que la severidad de daño constituye un indicador confiable para identificar fuentes de resistencia en sorgo y representa un criterio de gran utilidad en programas de mejoramiento genético dirigidos al desarrollo de variedades resistentes al pulgón amarillo.

Cuadro 5. Severidad de daño, índice de daño (ID), índice de daño relativo (IDR), clasificación de los genotipos, $\pm$ error estándar de genotipos de sorgo evaluados contra el pulgón amarillo del sorgo *Melanaphis sorghi*.

Genotipo	Severidad de daño	ID	IDR	Clasificación
BT09T9B	4.4 $\pm$ 0.4 ^{cdβ}	0.22	0.33	MR
BT09E8B	4.9 $\pm$ 0.4 ^b	0.44	0.67	S
BT09E8R	6.2 $\pm$ 0.2 ^a	0.43	0.65	S
BT09E8AB	3.9 $\pm$ 0.3 ^d	0.38	0.58	S
BT09E8AR	4.1 $\pm$ 0.2 ^d	0.38	0.58	S
BT09E1GR	6.4 $\pm$ 0.2 ^a	0.66	-	S
BT09E8 R2	5.0 $\pm$ 0.3 ^b	0.45	0.69	S
BT09T5	2.0 $\pm$ 0.2 ^e	0.16	0.25	MR
BT09T9R	4.1 $\pm$ 0.5 ^d	0.25	0.38	MR
BT09E1GB	4.7 $\pm$ 0.4 ^{bc}	0.47	0.72	S

^{β} Medias con la misma letra en la columna son estadísticamente iguales (tukey $p < 0.05$), MR; medianamente resistentes, S; susceptibles.

El genotipo BT09T5 registró la menor severidad de daño ocasionada por *M. sorghi*, con un valor de 2.0 en la escala propuesta por Sharma *et al.* (2013), lo que refleja una respuesta favorable frente al ataque del pulgón amarillo. En contraste, los genotipos BT09E1GR y BT09E8R presentaron los mayores niveles de daño, con incrementos de

4.4 y 4.2 unidades, respectivamente, respecto a BT09T5, evidenciando una mayor susceptibilidad al insecto.

Los resultados obtenidos son consistentes con los reportados por Payán *et al.* (2020), quienes evaluaron diversos genotipos de sorgo y registraron valores de severidad entre 0.8 y 6.2. En dicho estudio, las variedades Perla 101, Sinaloense 202 y Gavatero 203, desarrolladas por el (CEVACU), presentaron niveles de severidad de 2.1 a 3.8, considerados como indicadores de una respuesta favorable al ataque de *M. sorghi*. De manera similar, Gastélum *et al.* (2016) reportaron valores de severidad de 3.18 para Perla 101, 2.73 para Sinaloense 202 y 2.95 para Gavatero 203, confirmando que estos materiales poseen un grado de resistencia o tolerancia al pulgón amarillo.

La concordancia entre los resultados de ambos estudios pone de manifiesto que el programa de mejoramiento genético del CEVACU ha logrado conservar e incorporar fuentes de resistencia útiles contra *M. sorghi*. En este contexto, el comportamiento observado en BT09T5 resulta particularmente relevante, ya que su baja severidad de daño sugiere la presencia de características genéticas que limitan el establecimiento y desarrollo de las poblaciones del áfido o permiten a la planta reducir los efectos del ataque. Desde el punto de vista del mejoramiento genético, BT09T5 representa una fuente promisoría de resistencia para su utilización como progenitor en la obtención de nuevos híbridos o variedades de sorgo adaptadas a las condiciones del noroeste de México. La incorporación de este tipo de materiales puede contribuir a reducir la dependencia del control químico, favorecer el manejo integrado del pulgón amarillo y mejorar la estabilidad del rendimiento bajo condiciones de infestación, tal como ha sido señalado por Bowling *et al.* (2016) y Perales-Rosas *et al.* (2019).

Con base en la severidad de daño y el índice de daño (ID), el genotipo BT09T5 presentó la menor preferencia por *M. sorghi*, con un valor promedio de 0.16, lo que confirma su mejor comportamiento frente al ataque del pulgón amarillo. En orden de menor preferencia le siguieron los genotipos BT09T9B y BT09T9R que presentan valores de 0.22 y 0.25 respectivamente. El genotipo BT09E1GR fue superior en 0.5 a BT09T5. Respecto al índice de daño relativo (IDR) los genotipos que presentaron los

valores más bajos fueron BT09T5 (0.25), BT09T9B (0.33) y BT09T9R (0.38), en contraste con los genotipos BT09E1GB y BT09E8 R2 que fueron la que presentaron los valores más altos 0.72 y 0.69 respectivamente. Con los resultados obtenidos de ID e IDR se obtuvo su clasificación donde se agruparon en dos grupos 1) moderadamente resistentes y 2) susceptibles. Dentro de los genotipos moderadamente resistentes se encuentra (BT09T9B, BT09T5 y BT09T9R) y el resto de los genotipos son susceptibles. Los resultados son consistentes con los reportados por Payán *et al.* (2020) y Pecina *et al.* (2021) quienes identificaron genotipos de sorgo con niveles moderados de resistencia al pulgón amarillo bajo condiciones de infestación natural, en este estudio se identificó al menos un genotipo que presenta este nivel de resistencia bajo condiciones de presión natural.

Considerando que el experimento se desarrolló bajo condiciones de libre elección y en condiciones de campo, donde el pulgón amarillo tuvo la oportunidad de seleccionar los genotipos para su establecimiento, el bajo nivel de infestación presentado en el genotipo BT09T5 nos indican que la resistencia observada está asociada principalmente al mecanismo de antixenosis (no preferencia) y no de tolerancia, este mecanismo es caracterizado por reducir la preferencia del insecto por el hospedero mediante atributos morfológicos o compuestos químicos de la planta que reducen la atracción, el establecimiento o la alimentación inicial del insecto, limitando su colonización en comparación con los genotipos susceptibles (Fontes y Bernal, 2020; Painter, 1951; Souza, 2025). La clasificación como medianamente resiste en el genotipo BT09T5 junto a su menor severidad de daño menor (2.0) e índice de daño de (0.16), respaldan que este genotipo presenta una menor preferencia para la colonización por *M. sorghi*, está marcada evasión por parte del insecto descarta su tolerancia fisiológica, ya que la ausencia de síntomas severos obedece al rechazo de la colonización y no a la resiliencia del tejido bajo una alta presión de selección.

3.4. CONCLUSIONES

Los resultados mostraron una respuesta diferencial entre los genotipos de sorgo evaluados.

Existen genotipos tolerantes al pulgón amarillo con buen rendimiento de grano, sin embargo, el rendimiento se ve afectado conforme el nivel de infestación aumenta.

Los genotipos BT09T9B y BT09T9R, presentaron los menores índices de daño y mayores rendimientos de grano, lo que nos indica que presentan tolerancia a *M. Sorghi*.

El presente estudio permite identificar materiales que presenten potencial para ser utilizados en programas de mejoramiento genético y producción comercial, así como a contribuir en el manejo de esta plaga y al fortalecimiento de la producción de sorgo.

En condiciones de libre elección, la baja preferencia y severidad en BT09T5 confirman que existe antixenosis, descartando su tolerancia fisiológica como mecanismo de resistencia.

CAPITULO 4. LITERATURA CITADA.

- Afzal M., A. Ahmad and A. U. H. Ahmad (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>.
- Amores-Bravo, B. D., Abasolo Pacheco, F., Reyes Pérez, J. J., Romero Mesa, R., Otacoma Yanes, J. C., y 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.socictopen.socict.org/files/original/e4bcb89bce7557e3ca7aabb1491a7b2c.pdf>.
- Armstrong, J. S., Rooney, W. L., Peterson, G. C., Villanueva, R. T., Brewer, M. J. and Sekula-Ortiz, D. (2015). Sugarcane aphid (Hemiptera: Aphididae): host range and sorghum resistance including cross-resistance from greenbug sources. J. Econ. Entomol. 108: 576–582.
- Amador, A. L. y C. Boschini (2000). Calidad nutricional de la planta de sorgo negro forrajero (*Sorghum almum*) para alimentación animal. Agronomía Mesoamericana 11:79-84. <https://www.redalyc.org/pdf/437/43711212.pdf>.
- Ávila-Pérez, L. y 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>.
- Balikai, R. A., and S. Lingappa. (2012). Bio-ecology and Management of Sorghum Aphid. LAP Lambert Academic Publishing. India. 184 p.
- Blackman, R. L., and V. F. Eastop. (1984). Aphids on the World's Crops: an Identification and Information Guide. John Wiley and Sons, New York.
- Bustamante, E. G. y Rivas, P. (1999). Elementos e importancia del diagnóstico de problemas fitosanitarios. Manejo integrado de plagas. (52): 1-15.
- Bowling, R., M. J. Brewer, D. L. Kerns, J. Gordy, N. Seiter, N. E. Elliott, D. Buntin, M. O. Way, T. Royer, S. Biles, and E. Maxson. (2016). Sugarcane aphid (Homoptera: Aphididae): A New pest on Sorghum in North America. Journal of Integrated Pest Management, 7:1-12. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmw011>.
- Bowling, R., Brewer, M., Knutson, A., Biles, S., Way, M. and Sekula-Ortiz, D. (2015). Monitoreo del Pulgón Amarillo en Sorgo en el Sur, Centro, y Oeste de Texas. Texas AyM AgriLife. <http://agrilife.org/ccag/files/2016/04/NT0043S.pdf>.
- Brown, S., Kerns, D., and Julien Beuzelin. (2014). Sugarcane aphids an emerging pest of grain sorghum. The LSU AgCenter. Louisiana, US. Pub. 3369.

- Brown, P. J., P. E. Klein, E. Bortiri, C. B. Acharya, W. L. Rooney, and S. Kresovich. (2006). Inheritance of inflorescence architecture in sorghum. *Theoretical and Applied Genetics* 113:931-942 <https://doi.org/10.1007/s00122-006-0352-9>.
- Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de Sinaloa (CESAVESIN). (2014). Alerta fitosanitaria: Pulgón amarillo. <http://www.agrotransfer.org/index.php/articulo-tecnico/686-alerta-el-cesavesin-por-presencia-de-pulgon-amarillo-en-sinaloa>.
- Comptom L. (1990). *Agronomía del sorgo*, editorial Centa, Salvador. 301p.
- 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.
- Cortez, M. E., Moreno, G. T., Pérez, M. J. y Macías, C. J. (2018). El Pulgón Amarillo del Sorgo y las Tácticas para su Manejo Integrado. Folleto Técnico No. 44. ASBN: 978-607-37-0947-7.
- Cortez-Mondaca, E., López-Buitimea, M., López-Arroyo, J. I., Orduño-Cota, F. J y Herrera-Rodríguez, G. (2016). Especies de Chrysopidae Asociadas al Pulgón del Sorgo en el Norte de Sinaloa, México. *Southwest. Entomol.* 41:541-545.
- Díaz, M.R., Díaz F.A., Garza C.I. y 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>.
- Del Toro-Ben, M. I., Baños-Díaz, H. I., Miranda-Cabrera, I. and Martínez-Rivero, M de los A. (2018). Biology of *Rhopalosiphum maidis* Fitch (Hemiptera: Aphididae) on Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) (Moench)). *Revista protección Vegetal*, 33(1), <https://revistas.censa.edu.cu/index.php/RPV/article/view/947>
- Deutsch, J. A. (1989). Pre-release testing and seed production of insect resistant maize cultivars, pp. 267-274. In CIMMYT [ed.], *Towards insect resistant maize for the Third World. Proceedings, of the International Symposium on Methodologies for Developing Host Plant resistance to Maize Insects*, 9-14 March, Mexico. <https://repository.cimmyt.org/entities/publication/16ff08ca-340b-4503-9933-0d8c2ab85d10>.
- Dicko, M.H., Gruppen, H., Traore, A.S., Voragen, A.G. and Van Berkel, W.J. (2006). Review: Sorghum grain as human food in Africa: relevance of starch content and amylase activities. *African Journal of Biotechnology*. 5: 384-395.
- Duke, J. (1983). Sorghum X alnum Parodi. *Handbook of energy crops*. <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke-energy/Sorghum-Xalnum.html>.
- Elangovan, M., P. Kiran-Babu, N. Seetharama, and J. V. Patil. (2014). Genetic diversity and heritability characters associated in sweet sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Sugar Tech*, 16(2), 200-210. <https://doi.org/10.1007/s12355-013-0262-5>.

- Fontes, P. A. A. and Bernal, S. J. (2020). Resistance and Tolerance to Root Herbivory in Maize Were Mediated by Domestication, Spread, and Breeding. *Frontier in Plant Science* 11:223. doi: 10.3389/fpls.2020.00223
- Foreign Agriculture Service, U.S. Departamento of Agriculture USDA. (2026). Produccion de sorgo.
- García Sánchez, A. N., Cerna Chávez, E., Beltrán Beach, M., Ocho Fuentes. Y. M., y Delgado Ortiz, J. C. (2023). Efecto de antibiosis, antixenosis y la variación natural de tricomas de especies silvestres y comerciales en tomate sobre el desarrollo de *Bactericera cockerelli*. *Scientia Agropecuaria*, 14(4), 501-509. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.041>
- Gastélum L. R., Godoy A, T. P., Inzunza C, J. F., López M, M., Salazar Y, R. y Gastélum A, W. E. (2016). Respuesta de variedades e híbridos de sorgo al ataque de *Melanaphis sacchari* (Zehntner) en el valle de Culiacán, Sinaloa. XIX Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas. Mexicali, Baja California, México. pp. 829-833.
- Graveros, I. E. (2003). Cultivos sorgos graníferos. [En línea]: <http://www.producción.com.ar/2003/03ago-10.htm>.
- Haider, Ijaz, Sufyan, Muhammad, Akhtar, Muhammad, Jalal, Muhammad A., Sahi, Shahbaz Y., Akhter, Noreen, Noman, Ali, and Qasim, Muhammad. (2021). Assessment of antixenosis and antibiosis levels in rice genotypes against *Sogatella furcifera* (Hemiptera: Delphacidae). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 80(2): 2-11. <https://doi.org/10.25085/rsea.800202>
- Harris-Shultz, K., Armstrong, J.S., Carvalho, G., Jr., Segundo, J.P. and Ni, X. (2022). *Melanaphis sorghi* (Hemiptera: Aphididae) Clonal Diversity in the United States and Brazil. *Insect* 13, 416. <https://doi.org/10.3390/insects13050416>.
- Hassana, M. A and Mudashiru A. (2018). A Comparism of Sorghum Yield between Local Varieties in Turare, Katsina State and Sorghum Hybrids from IAR Zaria, Kaduna State. *J. Agr. Sci. Tech.* 8: 382-387.
- Hernández F., L. M., Urías L., M. A. y Vidal M., V. A. (2023). El pulgón amarillo del sorgo: recomendaciones para su control. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CIRPAC. Campo Experimental Santiago Ixcuintla. Folleto Técnico Núm. 02. Santiago Ixcuintla, Nayarit, México, 38 p.
- Howe, G. and Jander, G. (2008). Plant Immunity to Insect Herbivores. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59: 41-66.
- 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., y 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_cnya_viii.php.

- León-Velasco, H., Mendoza-Onofre, L. E., Castillo-González, F., Cervantes-Santana, T. y 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. y 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. y 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>.
- Martínez Valenzuela, C. y Gómez Arroyo S. (2007). Riesgos genotóxicos por exposición a plaguicidas en trabajos agrícolas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 23 (4): 185-200.
- Moreno-Gallegos, T., López Guzmán, J. A., Gutiérrez Gutiérrez, O. G., Pérez Márquez, J., Cortez Mondaca, E. y 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., and 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>
- Nibouche S, Costet L, Medina RF, Holt JR, Sadeyen J, Zoogones A-S, Brown P. and Blackman RL. (2021). Morphometric and molecular discrimination of the sugarcane aphid, *Melanaphis sacchari* (Zehntner, 1987) and the sorghum aphid *Melanaphis sorghi* (Theobald, 1904). *Plos ONE* 16(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241881>
- Pacheco, D. R. (1988). Características agronómicas de 16 maicillos mejorados de (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) en diferentes localidades. Tesis Ing. Agr., Honduras. Universidad El Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/99899645-66a8-4b7a-a3d9-36d0497bc9b7/content>.
- Padmaja, P. G. (2016). Biotic Stress Resistance in Millets. Chapter 4- Insect Pest Resistance in Sorghum. 105–145.

- Painter, R. H. (1951). Insect Resistance to crop plants. The Mc Millan Co., New York, pp. 151.
- Pandey, A.K., Venkatesh, B B., Balakrishna, D and 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.
- Patil, S. S., Narkhede, B. N. and Barbate, K. K. (2006). Effect of biochemical constituents with shootfly resistance in sorghum. Agric. Sci. Dig. 26: 79 – 82.
- Payán-Arzapalo, M. A., Ail, C. C. E., Yáñez, J. M. G., Gastelum, L. R., Guerra, L. J. E., Godoy, A. T. P., Núñez, R. F. and Córdova, G. I. (2021). Antibiosis and Polyphenol Content in Commercial Cultivars of Sorghum¹ on *Melanaphis sacchari* (Zehntner)². Southwestern entomologist, 45(4).
- Payán-Arzapalo, M. A., Yáñez, J. M. G., Ail, C. C. E., Gastélum, L. R., Guerra, L. J. E., y Godoy, A. T. P. (2020). Caracterización de antibiosis, antixenosis y tolerancia en genotipos de *Sorghum bicolor* L. para *Melanaphis sacchari* Zehntner y parasitoides asociados a su cultivo en Culiacán. Tesis Doctorado en Ciencias Agropecuarias.
- Payán-Arzapalo, M. A., Ail, C. C. E., Gastélum, L. R., Guerra, L. J. E., Yáñez, J. M. G. and Ramírez, A. M. L. (2018). Parasitism and Hyperparasitism in *Melanaphis sacchari* Zehntner in Sorghum in Mexico. Southwest. Entomol. 43:433-437.
- Pecina Quintero, V., Bújanos Muñiz, R., Núñez Colin, C. A., Quijano Carranza, J. A., Montes García, N., Pecina Berrecil, A., and Martínez Martínez, T. O. (2021). Tolerance of Sorghum Hybrids Resistant to Yellow Aphis, *Melanaphis sacchari* (Zehntner), in Mexico. Southwestern Entomologist 45:937-948. <https://doi.org/10.3958/059.045.0411>.
- Peña-Martínez R, Muñoz-Viveros AL, Roberto MGR-E. (2015). Listado de plantas hospedantes del complejo *Melanaphis sacchari/sorghii* (Hemiptera: Aphididae), registros internacionales y potenciales en México. Entomol. Mex. 2:582-587.
- Perales-Rosas, D., Hernández-Pérez, R., Guillén-Sánchez, D., López-Martínez, V., Alia-Tejagal, I., Andrade-Rodríguez, M., Juárez-López, P. y Perdomo-Roldán, F. (2019). Evaluación de la Antibiosis, Antixenosis y Tolerancia de *Melanaphis sacchari/sorghii* en híbridos de sorgo. Southwest. Entomol. 44: 763-770.
- Pérez, A., Saucedo, O., Iglesias, J., Wencomo, Hilda B, Reyes, F., Oquendo, G y Milián, Idolkys. (2010). Caracterización y potencialidades del grano de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). Pastos y forrajes, 33 (1).
- Pozo M., Van Loon L., and Pieterse C. (2004). Jasmonates Singals in plant-microbe interactions. J Plant Growth Regulation. 23:211-222.

- Prasad, S., Singh, A., Jain, N., and 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>.
- Qureshi, J. A., J. P. Michaud, and T. J. Martin. (2006). Resistance to biotype 2 Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae) in two wheat lines. *J. Econ. Entomol.* 99:544-550.
- Rebollar-Ávila, C., Mendoza-Onofre, L. E., Cisneros-López, M. E., Silva-Rojas, H. V., y Córdova-Téllez, L. (2018). Caracterización y rendimiento de semilla de progenitores femeninos de híbridos simples y trilineales de sorgo. *Revista fitotecnica 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., y Márquez Sánchez, R. (2017). Productividad de la red bovino en Tamaulipas. *El Economista*. <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Productividad-de-la-red-bovino-en-Tamaulipas-I-20170403-0007.html>.
- Rebollar, R. E., Rebollar, R.S., González, R. F. J. Rebollar, R. A., Hernández, M. J., Gómez, T. G. (2016). Dinámica regional de la producción de sorgo en México, 1994-2012. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 7:619-630.
- Roberti, J. O., Bas Nahas, S. S., Romero, J. I., Interdonato, R., Budeguer, R. F., Amado, M. E., Rodriguez Rey, J. A., y Romero, E. R. (2014). Métodos no destructivos de estimación del área foliar de hojas individuales en dos híbridos de sorgo dulce [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Revista Industrial y Agrícola De Tucumán*, 91(1), 27–31.
- Rodrigues, A. M., Garcia, H. F., Moura de Olivera, R. M., Aleixo da Silva, J., Ferreira S. M. L., Bolsoni, Z. H., Luis, O. F. and Pin, D. L. (2025). Antixenosis of different maize genotypes in storage affects feeding preferences and oviposition of *Sitophilus zeamais* Moth. *Scientia Agropecuaria*, 16(3): 409-416. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2025.031>
- Rodríguez Del Bosque, L. A. y Terán Vargas, A. P. (2018). Manejo Integrado del Pulgón Amarillo del Sorgo en Tamaulipas. Folleto Técnico. No. MX-0-310304-45-03-13-09-72. ISBN: 978-607-37-0976-7.
- Rodríguez del Bosque L.A., and Terán A.T. (2015). *Melanaphis sacchari* (Hemiptera: Aphididae): A new sorghum insect pest in Mexico. *Southwestern Entomologist*, 40 (2): 433-434. <https://doi.org/10.3958/059.040.0217>.
- Rodríguez-Gómez, J. C., García-De los Santos, G., Hernández-Livera, A., y 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>.
- Rodríguez-Vélez, Beatriz, Suaste-Dzul, Alba, Gallou Adrien, Rodríguez-Vélez, José Manuel, Sarmiento-Cordero, Mariza Araceli y Arredondo-Bernal, Hugo Cesar. (2019). Pulgones (Hemiptera: Aphididae) y sus parasitoides (Hymenoptera) en cultivos de sorgo en los estados de Colima y Tamaulipas, México. Acta Zoológica Mexicana, 35. <https://doi.org/10.21829/azm.2019.3501085>.
- Rodríguez, M. V., Benech-Arnold, L. y Lusem, N. D (2007). Bases fisiológicas y moleculares de la dormición en cariósides de sorgo granífero: identificación de sitios regulatorios del metabolismo de giberelinas y de la sensibilidad al ABA. Tesis de Doctorado, Universidad de Buenos Aires. https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n4253_Rodriguez.pdf
- Rooney WL. (2004). Sorghum improvement-integrating traditional and new technology produce improved genotypes. Adv. Agron. 83-37-109. [https://doi.org/10.1016/s0065-2113\(04\)83002-5](https://doi.org/10.1016/s0065-2113(04)83002-5).
- Sarwar M. (2015). The killer chemicals as controller of agricultura insect pests: The conventional insecticides. Internacional Journal of chemical and Biomolecular Science, 1 (3): 141-147.
- Schlickmann-Tank, J. A., Morales-Galván, O., Pineda-Pineda, J., Espinosa-Vázquez, G., Colinas-León, M. T. and Vargas-Hernández, M. (2020). Relationship between chemical fertilization in sorghum and *Melanaphis sacchari/sorghum* (Hemiptera: Aphididae) populations. Agronomía Colombiana, 38(3), 357–366. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v38n3.87308>.
- Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA]. (2017). Sorgo grano mexicano. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/data/file/256433/B_sico-Sorgo_Grano.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/data/file/256433/B_sico-Sorgo_Grano.pdf).
- Sharma, H. C., Bhagwat, V. R., Daware, D. G., Pawar, D. B., Munghate, R. S., Sharma, S. P., Kumar, A. A., Reddy, B. V. S., Prabhakar, K. B., Ambekar, S. S. and Gadakh, S. R. (2014). Identification of sorghum genotypes with rsistance to the sugarcane aphid *Melanaphis sacchari* under natural and artificial infestation. J. Plant. Breed. 133:36-44.
- Sharma, H. C., Sharma, S. P. and Munghate, R. S. (2013). Phenotyping for resistance to the sugarcane aphid *Melanaphis sacchari* (Hemiptera: Aphididade) in sorgo bicolor (Poaceae). Int. J. Trop Insect Sci. 33: 227-238.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2026). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Disponible en: https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/.

- Singh, B. U., Padmaja, P. G. and Seetharama, N. (2004). Biology and management of the sugarcane aphid, *Melanaphis sacchari* (Zehntner) (Homoptera: Aphididae), in sorghum: a review. J. Crop Prot. 23 (9):739–755. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2004.01.004>.
- Smith, C. M. (1989). Plant resistance to insects. A fundamental approach. Wiley, New York: Wiley.
- Soreng, J. R., Peterson, M. P., Romaschenko, K., Davidse, G., Zuloaga, O. F., Emmet, J., Judziewicz, J., Filgueiras, S. T., Davis, J. I. and Morrone, O. (2015). A worldwide phylogenetic classification of the Poaceae (Gramineae). J. Syst. Evol. 53:117-137.
- Souza, B. H. S. (2025). Host Plant Resistance: Is It Time for a New Model. Neotropical Entomology, 54(82). <https://doi.org/10.1007/s13744-025-01300-7>
- Statistical Analysis System Release 9.3 ed. SAS (2006). Institute, Inc., Cary, NC.
- Sylvester, E.A., Z. Li-Min., X. Yan., Z. Yu-Miao., L. Zhi-Quan., and 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>.
- Tocho, E. F., Castro, A. M. y Remes, L. A. M. (2010). Identificación y caracterización de la resistencia a *Schizaphis graminum* (Rondani) (Homoptera: Aphididae) y a *Diuraphis noxia* (Homoptera: Aphididae) en cebada de cerveza (*Hordeum vulgare*). Tesis de doctorado, Universidad Nacional de la Plata, <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/82879>
- 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.
- Valladares, C. A. (2010). Taxonomía y Botánica de los Cultivos de Grano. Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Honduras. 28p.
- Van den Berg, J. (2002). Status of resistance of Sorghum hybrids to the aphid *Melanaphis sacchari* (Zehntner) (Homoptera: Aphididae). S. Afr. J. Plant Soil 19:151-155.
- Van der Plank JE. (1966). Horizontal (polygenic) and vertical (oligogenic) resistance against blight. Am Potato J. 52:43-43.
- Villanueva, R. T. and Sekula, D. (2014). A New Pest of Sorghum: the Sugarcane Aphid. 20th Annual Rio Grande Valley Cotton and Grain Pre-Plant Conference Edcouch. <http://cameron.agrilife.org/files/2014/02/New-Aphid-Pest.pdf>.
- Villeda-Castillo, D., Parada-Berrios, F., Lara-Ascencio, F., y 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>.

- Wang, Z., Zhang, K., Sun, X., Tang, K. and Zhang, J. (2005). Enhancement of resistance to aphids by introducing the snowdrop lectin gene gna into maize plants. *J. Biosci.* 30: 627–638.
- White, W. H., Reagan, T. E., and D. G. Hall. (2001). *Melanaphis sacchari* (Homoptera: Aphidae), a sugarcane new to Louisiana. *Fla. Entomol.* 84: 435-436.
- Williams-Alanís, H., Aranda-Lara, U., Arcos-Cavazos, G., Elizondo-Barrón, J., Zavala-García, F., López-Guzmán, J. A., Moreno-Gallegos, T., y 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. y 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. y 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., y 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>.
- Wratten, S. D., G. M. Gurr, J. M. Tylianakis, and K. A. Robinson. (2007). Cultural control. In: van Emden, H. F., and Harrington, R., (Eds), *Aphids as crop pests*. 423-445.
- Wu, J. and Baldwin, I. T. (2009). Herbivory-induced signaling in plants: perception and action. *Plant cell environ.* 32: 1161-1174. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19183291>.
- Yücel, C., Yücel, D., Hatipoğlu, R. and 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>.

CAPITULO 5. ANEXO.

Capítulo en proceso de publicación, actualmente se encuentra en prensa, con número de DOI <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e2069>

INICIO
ENVIOS
NÚMERO ACTUAL
EN PRENSA
NÚMEROS ANTERIORES -
AVISOS
ACERCA DE -

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

ARTÍCULOS ORIGINALES

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

Publicado 2026-04-28

Jesus Asuncion Lopez Guzman , Dr. Fernando Alberto Valenzuela-Escoboza , Dr. Edgardo Cortez-Mondaca , Dr. Luis Alberto Hernández-Espinal , Dra. María Alejandra Payan-Arzapalo , Dr. Obed Gutiérrez Gutiérrez-Gutiérrez 



PALABRAS CLAVE

Caracterización
rendimiento
forraje
grano

Métricas de PLUMX

Resumen

La caracterización agronómica consiste en describir los atributos cualitativos y cuantitativos de las accesiones de una misma especie. 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 mil toneladas de grano del total de la producción nacional. El objetivo de la presente investigación fue realizar la caracterización agronómica de 10 líneas avanzadas F7 de sorgo con fines de liberación comercial. Se evaluaron diez líneas de sorgo generadas por el programa de mejoramiento genético de sorgo 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, 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). En la mayoría de los descriptores cuantitativos se observó un comportamiento homogéneo de las líneas, esto debido a su coeficiente de variación presentado menor al 10%. La línea BT09T9B por presentar buenos rendimientos de grano y forraje, se está considerando para proponerse como nueva variedad comercial para el estado de Sinaloa.

PDF