

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Evaluación en Campo de Variables Agronómicas en Genotipos de Sorgo para
Determinación de Tolerancia al Pulgón Amarillo (*Melanaphis sacchari*)

Por:

SAMUEL ROVELO RUIZ GONZÁLEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Abril, 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Evaluación en Campo de Variables Agronómicas en Genotipos de Sorgo para
Determinación de Tolerancia al Pulgón Amarillo (*Melanaphis sacchari*)

Por:

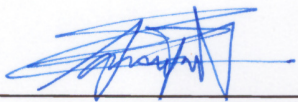
SAMUEL ROVELO RUIZ GONZÁLEZ

TESIS

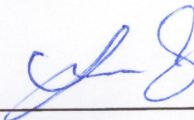
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

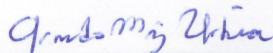
Aprobada por el Comité de Asesoría:



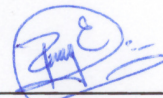
Dr. Antonio Flores Naveda
Asesor Principal Interno



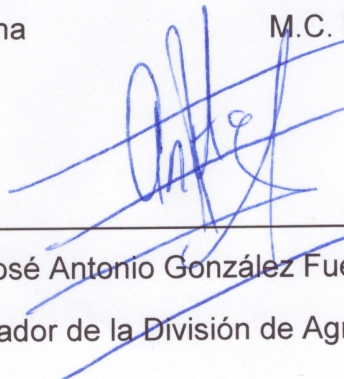
Dr. Leonardo Sepúlveda Torre
Asesor Principal Externo



Dr. Armando Muñoz Urbina
Coasesor



M.C. Pifar Espitia Hernández
Coasesor



Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Abril, 2022

Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



Samuel Roveló Ruiz González

AGRADECIMIENTOS

A mi queridísima “**Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**” en donde pase estos largos años, los mejores años para formarme como un profesionista, por darme y brindarme los conocimientos necesarios para poder desarrollarme.

Al **Dr. Antonio Flores Naveda** por confiar en mí para poder realizar este trabajo, por su tiempo, por los consejos, el apoyo, la amistad brindada y los conocimientos durante la carrera, estaré siempre agradecido con usted.

Al **Dr. Armando Muñoz Urbina** por brindar parte de su tiempo para poder realizar las correcciones de este trabajo, por su amistad y por los ánimos que me brindo para salir adelante.

Al **Dr. Leonardo Sepúlveda Torre** por brindar parte de su tiempo para llevar a cabo las revisiones de este trabajo y por el apoyo durante la elaboración del proyecto de Tesis.

A la **M.P. Pilar Espitia Hernández** por su participación en el comité de asesoría, aportaciones y sugerencias realizadas al presente trabajo de investigación de Tesis.

A **Lorenzo Villa Sandoval** que desde el inicio en la presente investigación de Tesis a nivel de campo, fue de gran ayuda, por su apoyo, amistad brindada y el tiempo empleado en todas las etapas, gracias.

A todos los profesores que me enseñaron y formaron parte de mi formación como profesionista, por los conocimientos que me brindaron durante mi preparación profesional.

DEDICATORIA

A DIOS por darme las fuerzas necesarias y la fortaleza de querer superarme y ser alguien más en la vida, por cuidarme, protegerme y permitir la llegada de cosas buenas y muchas bendiciones.

A mis PADRES: María del Carmen González García y Guadalupe Ruíz Santis, por darme la vida, por brindarme su amor día tras día e incondicionalmente, por todos los esfuerzos que hicieron para que llegara a convertirme en lo que ahora soy, por darme el apoyo para lograr una meta más, me enorgullece ser el hijo de estas dos grandes personas a los cuales les debo todo, los amo. Me han enseñado muchas cosas y la mejor herencia que me pudieron dar es el estudio, aparte de la felicidad que siempre me ha rodeado al tenerlos a mi lado. Gracias a ustedes, he llegado tan lejos y he aprendido afrontar la vida, gracias por sus consejos, son las personas que más valoro en el mundo.

A mis HERMANOS: Cecilia Guadalupe Ruíz González y Carlos Miguel Ruíz González, gracias por estar siempre a mi lado, por los maravillosos momentos que hemos pasado, por estar en las buenas y en las malas, siempre han estado cuando más los necesité, los quiero mucho y recordarles que en la vida hay que soñar en grande y que hay que luchar para cumplir todos nuestros sueños.

A mis ABUELOS: por darme a los mejores padres, por los buenos consejos y fuerza para seguir adelante, por el amor brindado y la confianza, gracias por estar conmigo, gracias por ser parte importante en mi vida. Y aunque dos de ellos estén con dios sé que me cuidan desde el cielo.

A todos mis amigos, tanto como de mi carrera como de otras más, gracias por todo y por los consejos que en algún momento me brindaron y me sirvieron de mucho, gracias por formar parte de mi vida y por estar en los momentos buenos y malos durante la carrera.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	3
1.1.1. Objetivo general	3
1.1.2. Objetivos específicos	3
1.2. Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Origen del cultivo	4
2.2. Importancia del cultivo de sorgo	4
2.3. Producción de sorgo a nivel mundial	5
2.4. Producción de sorgo en México.....	5
2.5. Clasificación taxonomica	6
2.6. Etapas de crecimiento y desarrollo del sorgo	7
2.7. Tipos de sorgos	9
2.7.1 Sorgo para grano.....	9
2.7.2 Sorgo para ensilaje.....	9
2.7.3 Sorgo para verdeo	10
2.8. Principales plagas del sorgo	11
2.8.1 Gusano cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>)	11
2.8.2 Gusano soldado (<i>Spodoptera exigua</i>).....	11
2.8.3 Trips (<i>Frankliniella spp.</i>).....	11
2.8.4 Mosquita de la panicula (<i>contarinia sorghicola</i>)	12
2.8.5 Pulgón amarillo del sorgo (<i>Melanaphis sacchari</i>).....	12
2.8.5.1 Clasificación taxonomica	13
2.8.5.2 Importancia económica	13
2.8.5.3 Impacto económico de la plaga	14
2.8.5.4 Hospedantes	14
2.8.5.5 Ciclo biológico	15
2.8.5.6 Descripción morfológica	15

2.8.5.7 Daños	15
2.8.5.8 Epidemiología de la plaga	16
2.8.5.9 Dispersión	17
2.8.5.10 Métodos de detección	17
2.8.5.11 Control genético	17
2.8.5.12 Control cultural	18
2.8.5.13 Control biológico.....	18
2.8.5.14 Control químico.....	19
2.9. Principales enfermedades	20
2.9.1 La roya del sorgo (<i>Puccinia sorghi</i>).....	20
2.9.2 Mancha gris de la hoja (<i>Cercospora sorghi</i>)	20
2.9.2 Ergot del sorgo (<i>sphacelia spp</i>)	21
2.10. Analisis de Componentes Principales.....	21
III. MATERIALES Y MÉTODOS	23
3.1. Localización del sitio experimental	23
3.2. Material genético	23
3.3. Diseño experimental	23
3.4. Variables evaluadas	24
3.4.1 Días a floración (DF).....	24
3.4.2 Altura de planta (AP).....	24
3.4.3 Longitud de excursión (LE)	24
3.4.4 Longitud de panícula (LP)	24
3.4.5 Incidencia de daño por aves (IDA).....	24
3.4.6 Índice de enfermedades foliares (EF)	25
3.4.7 Grados Brix (GB)	25
3.4.8 Número de pulgones por planta (NPP)	25
3.4.9 Rendimiento de grano en g/planta (REN)	25
3.5. Analisis estadístico univariado.....	25
3.6. Analisis estadístico multivariado	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
4.1. Días a floración (DF).....	28

4.2.	Altura de planta (AP).....	29
4.3.	Longitud de exersión(LE).....	29
4.4.	Longitud de panícula (LP).....	30
4.5.	Incidencia de daño por aves (IDA).....	30
4.6.	Incidencia de enfermedades foliares (EF)	30
4.7.	Grados brix (GB).....	31
4.8.	Número de pulgones por planta (NPP)	31
4.9.	Rendimiento de grano en g/planta (REN)	32
4.10.	Análisis de componentes principales (ACP)	32
V.	CONCLUSIONES	37
VI.	LITERATURA CITADA.....	38

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Principales estados productores de sorgo en México.	6
Cuadro 2. Porcentaje de uso de granos en el ensilaje del sorgo.	10
Cuadro 3. Principales hospedantes de pulgón amarillo (<i>Melanaphis sacchari</i>)	14
Cuadro 4. Genotipos de sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>) estudiados en la presente investigación.	23
Cuadro 5. Cuadros medios del análisis de varianza y significancia de nueve características de genotipos de sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>).	28
Cuadro 6. Comparación de medias de las variables analizadas en genotipos de sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>), ordenadas con respecto a mayor rendimiento.	29
Cuadro 7. Valores y vectores propios para los tres primeros componentes principales de las variables evaluadas en campo de genotipos de sorgo.	33
Cuadro 8. Correlaciones fenotípicas entre las variables consideradas en el análisis de componentes principales.	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción mundial de sorgo. 2008/2009 - 2018/2019 (Millones de toneladas).....	5
Figura 2. Etapas iniciales en el cultivo del sorgo: A) etapa 0, emergencia, B) etapa 1, tres hojas visibles. C) etapa 2, cinco hojas visibles, D) etapa 3, diferenciación del ápice.	7
Figura 3. Etapas intermedias y finales del cultivo del sorgo: E) etapa 4, hoja bandera visible, F) etapa 5, estado de embuche, G) etapa 6, etapa de floración, H) etapa 7, grano masoso, I) etapa 8, grano duro, J) etapa 9, madurez fisiológica.	8
Figura 4. <i>Melanaphis sacchari</i> en el envés de la hoja, mancha rojas en la hoja ocasionadas por el daño de este insecto.....	16
Figura 5. Larva de <i>Hippodamia convergens</i> atacando al pulgón amarillo en sorgo.....	19
Figura 6. Promedios del número de pulgones por planta (NPP) en genotipos de sorgo bajo condiciones de infestación natural.	31
Figura 7. Promedios de rendimiento de seis genotipos de sorgo evaluados en el año 2021, en Buenavista, Coahuila.	32
Figura 8. Gráfica biplot que muestra las variables-vector y la distribución de los seis genotipos de sorgo, en base a los dos primeros componentes principales....	35

RESUMEN

Actualmente, en México el pulgón amarillo (*Melanaphis sacchari*) es la plaga de mayor importancia económica en el cultivo de sorgo. Por lo tanto, esta investigación tuvo como objetivo evaluar el comportamiento agronómico de líneas experimentales de sorgo, bajo infestación natural en su respuesta de tolerancia o susceptibilidad al pulgón amarillo en la región sureste de Coahuila. El experimento se estableció en el ciclo agrícola Primavera-Verano del 2021 en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), bajo el diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se evaluaron seis líneas experimentales del Programa de Mejoramiento de Sorgo del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS) del Departamento de Fitomejoramiento de la UAAAN. Se estudiaron las variables: días a floración (DF), altura de planta (AP), longitud de excursión (LE), longitud de panícula (LP), incidencia de daño por aves (IDA), incidencia de enfermedades (EF), grados Brix (GB), número de pulgones por planta (NPP) y rendimiento de grano en gramos por planta (REN). Con la información obtenida se realizó un análisis de varianza y la prueba de Tukey ($p=0.05$) entre las medias de los tratamientos, y un análisis multivariado de componentes principales (ACP).

En los resultados obtenidos se identificaron tres genotipos tolerantes al ataque del pulgón y con alto potencial de rendimiento: G6 (LES-267)= 112.6, G1 (LES-285)= 78.8 y G2 (LES-86)= 75.5 g/planta. Los genotipos con el menor NPP: G6 (LES-267)= 11 y G4 (LES-118)= 19, tuvieron la mayor altura de planta lo cual puede actuar como un mecanismo de defensa contra el ataque del pulgón amarillo. Los genotipos que presentaron altos contenidos de azúcares (GB): G4 (LES-118)=14.3 y G5 (LES-188)= 13.6 tienen el potencial para ser utilizados en la producción de etanol.

El análisis de componentes principales mostró que con dos componentes se explicó el 83% de la variación total de los datos. En los dos primeros componentes principales se identificaron las variables REN y GB como las de mayor importancia. La variable REN se correlacionó positivamente con DF ($r=0.738$) y AP ($r=0.927^{**}$), dando como resultado que los genotipos de mayor días a floración, fueron los que presentaron altos rendimientos. Genotipos con mayor LE presentaron altos contenidos de GB ($r=0.842^*$).

Palabras clave: *Sorghum bicolor*, *Melanaphis sacchari*, tolerancia, rendimiento, componentes principales.

I. INTRODUCCIÓN

El sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], es una planta originaria de Etiopía y Sudán, se adapta a climas cálidos áridos y semiáridos. El cultivo de sorgo es el quinto cereal más importante del mundo, por el volumen de producción y la superficie cultivada (FAO, 2017). Según el informe estadístico del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), la superficie sembrada en México durante el año agrícola 2020, fue de 1, 475,162 hectáreas en la modalidad de riego más temporal, en el cual 1, 317,399 hectáreas se cosecharon y el resto fue siniestrada, con un total de 4, 309,407 toneladas y un rendimiento promedio de 3.2 toneladas por hectárea (SIAP, 2020).

El crecimiento de la producción de los cereales secundarios (sorgo, cebada y avena), se concentra en África oriental y occidental, donde el sorgo y el mijo son utilizados para consumo humano, por lo tanto, estas regiones representan un 90% del crecimiento de la producción mundial. En el año 2025 se espera una producción adicional de 40% para Etiopía, del 14% para Nigeria y del 10% para Sudán. Además, se esperan incrementos en los rendimientos en los tres países, lo cual será reforzado por un aumento en la superficie sembrada en Etiopía y Sudán en un 18 y 22 por ciento, para finales del período de análisis, respectivamente (FIRA, 2016).

El sorgo tiene una gran demanda en el mercado nacional e internacional y se utiliza como forraje para la alimentación de millones de animales que proporcionan leche y carne a las personas (Jabereldar, 2017). Según, Ruz-Reyes *et al.*, (2018) mencionan que algunos cultivares de sorgo, pueden aprovecharse para obtener combustible, como el etanol, y en algunos lugares se usa en la producción de bebidas alcohólicas.

En la actualidad, una de las principales plagas que limita la producción de sorgo en México es el pulgón amarillo, (*Melanaphis sacchari*) la cual se detectó por primera vez en nuestro país en el mes de octubre del año 2013, desde entonces, esta plaga ha adquirido gran importancia económica y agrícola, por las grandes pérdidas que ha ocasionado en el cultivo del sorgo (INTAGRI, 2014).

En diversos estados del país, como en Tamaulipas, Coahuila, Sinaloa, Guanajuato, Morelos, Jalisco y Nayarit, han demostrado su agresividad y capacidad de desplazarse rápidamente, atacando al cultivo de sorgo en sus diversos tipos, grano y doble propósito (grano y forraje). La proliferación de la plaga está influenciada directamente por sus hospederos, teniendo como primarios al sorgo, zacate Johnson, trigo, avena, cebada; y como secundarios al cultivo de caña de azúcar, maíz y arroz (SENASICA, 2015).

El pulgón se alimenta de la savia que la planta necesita para crecer, desarrollarse y formar los granos. La pérdida de savia reduce la absorción de nutrientes que pudieran ser utilizados para mantener sana a la planta y el llenado de grano. Si, el daño es muy fuerte puede causar que la panícula, no emerja, tener un pobre llenado de grano y reducción en el rendimiento (Maya y Rodríguez-del-Bosque, 2014). El pulgón amarillo, ataca principalmente al sorgo siendo actualmente el de mayor importancia económica en México y en otros países a nivel mundial. Las pérdidas que puede ocasionar oscilan entre el 30 y 70% de la producción, incluso el 100% en casos severos, sin control oportuno (Silva-Martínez, 2019).

Debido al alto porcentaje de daños y a la importancia de la superficie destinada para la producción de sorgo en México, en este trabajo se evaluó la respuesta al ataque del pulgón amarillo de seis genotipos de sorgo para grano.

Por lo antes mencionado, se presentan a continuación los objetivos del presente trabajo de investigación.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

Evaluar el comportamiento agronómico de líneas experimentales de sorgo, bajo infestación natural para mecanismos de tolerancia o susceptibilidad al pulgón amarillo del sorgo (*Melanaphis sacchari*) en la región sureste de Coahuila.

1.1.2. Objetivos Específicos

Evaluar el potencial de rendimiento de grano de las líneas experimentales de sorgo evaluadas en la región sureste de Coahuila.

Determinar correlaciones positivas y de interés, para una selección de líneas de sorgo en forma indirecta en relación a la tolerancia al pulgón amarillo.

1.2. HIPÓTESIS

Hi: La evaluación del comportamiento agronómico de líneas experimentales de sorgo, nos permitirá estimar el nivel de daño del pulgón amarillo en la fenología del cultivo, para determinar sus mecanismos de tolerancia o susceptibilidad.

Existen correlaciones fenotípicas entre algunas variables de interés que nos permitan hacer selección indirecta.

Ho: Las líneas experimentales de sorgo evaluadas, no presentan mecanismos de tolerancia al pulgón amarillo del sorgo de acuerdo a su comportamiento agronómico en la región sureste de Coahuila.

No se presentan correlaciones positivas entre las variables de interés que nos permitan hacer una selección indirecta.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen del cultivo

El origen del sorgo parece haber llegado a América, como maíz de Guinea, desde África occidental alrededor del siglo XVII a través del comercio de los esclavos y por obra de navegantes que hacían la ruta comercial Europa-África-América Latina, aunque su cultivo no llegó a adquirir importancia, hasta el siglo actual (Carbajal, 2009). El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América, inicio trabajos con sorgo en 1904 en XIT Ranch en el estado de Texas y el mejoramiento en plantas de sorgo, inicio en Texas Agricultural Experiment Station en 1914 (Quinby, 1974).

2.2. Importancia del cultivo de sorgo

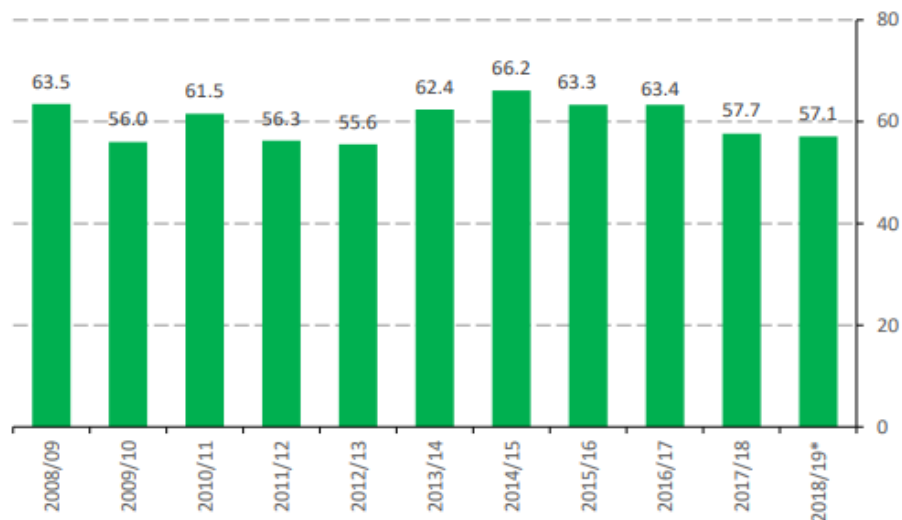
El cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor*) es el quinto cereal más importante del mundo y según la Comisión Latinoamericana de Investigadores de Sorgo (CLAIS), ocupa el segundo lugar en América Latina; los países más importantes por su producción y superficie son Estados Unidos de América y México, donde existe un patrón muy definido para la producción del grano, que se destina a la comercialización, principalmente para consumo animal en forma de alimento balanceado (Rebollar *et al.*, 2016).

El sorgo es una gramínea de origen tropical que ha sido adaptada, a través del mejoramiento genético, a una gran diversidad de ambientes, siendo considerado uno de los cultivos mundiales de seguridad alimentaria. El excelente potencial que ha demostrado el sorgo en diversas regiones del país y la importancia del cultivo para el desarrollo de un sistema sustentable, ha permitido un incremento en la superficie sembrada, así como en las exportaciones de este grano (INTA, 2011). En el mundo, el sorgo es un producto agrícola que se utiliza para diversos fines, ya sea como alimento para consumo humano, animal, entre otros. En México, este grano es uno de los productos más utilizados para consumo forrajero. Además, es considerado

como un buen sustituto de otros granos, como puede ser el maíz amarillo (FIRA, 2016).

2.3. Producción de sorgo a nivel mundial

La producción mundial de sorgo en el ciclo comercial 2017/2018 se ubicó en 57.7 millones de toneladas (mdt), es decir, registró un decremento anual de 9.0% Figura 1. Esta reducción, fue resultado de un decremento de 9.4% en la superficie cosechada. Para el ciclo 2018/2019, el USDA estima que la producción registre una nueva disminución, ahora de 1%, para ubicarse en 57.1 mdt, su nivel más bajo de los últimos seis años (FIRA, 2019).



Fuente: USDA (2019).

Figura 1. Producción mundial de sorgo, 2008/2009 – 2018/2019 (Millones de toneladas).

2.4. Producción de sorgo en México

En México, el sorgo es uno de los granos forrajeros más importantes dentro del sector pecuario (Molina *et al.*, 2012). Este cultivo se considera como fuente importante de materias primas en la elaboración de alimentos balanceados para aves, bovinos y porcinos (Financiera Rural, 2011). La superficie sembrada para este cultivo alcanzó un promedio de 1.4 millones de hectáreas, con un volumen cercano a los 4.3 millones de toneladas anuales en el año 2020, con un

rendimiento obtenido por este cultivo de 3.27 toneladas por hectárea (SIAP, 2020). Entre los principales productores de sorgo en México, el estado de Tamaulipas ocupa el primer lugar en superficie sembrada, alcanzando una producción de 1, 850,024 toneladas de grano.

Cuadro 1. Principales estados productores de sorgo en México.

Estado	Superficie (hectáreas)		Producción Ton	Rendimiento Ton ha ⁻¹
	Sembrada	Cosechada		
Tamaulipas	817,471	773,886	1,850,024	2.391
Nayarit	46,059	45,555	242,248	5.318
S.L.P.	51,617	36,366	71,719	1.972
Campeche	29,884	29,181	85,325	2.924
Veracruz	14,980	11,886	40,657	3.421

Fuente: SIAP (2020).

2.5. Clasificación taxonómica

Con respecto a la clasificación taxonómica del sorgo se presenta la jerarquización de acuerdo con un sistema de clasificación reconocido por el Sistema Integrado de Información Taxonómica de CONABIO (Heike, 2009):

Reino: *Plantae*

Subreino: *Traqueobionta*

Superdivisión: *Spermatophyta*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Liliopsida*

Subclase: *Commelinidae*

Orden: *Cyperales*

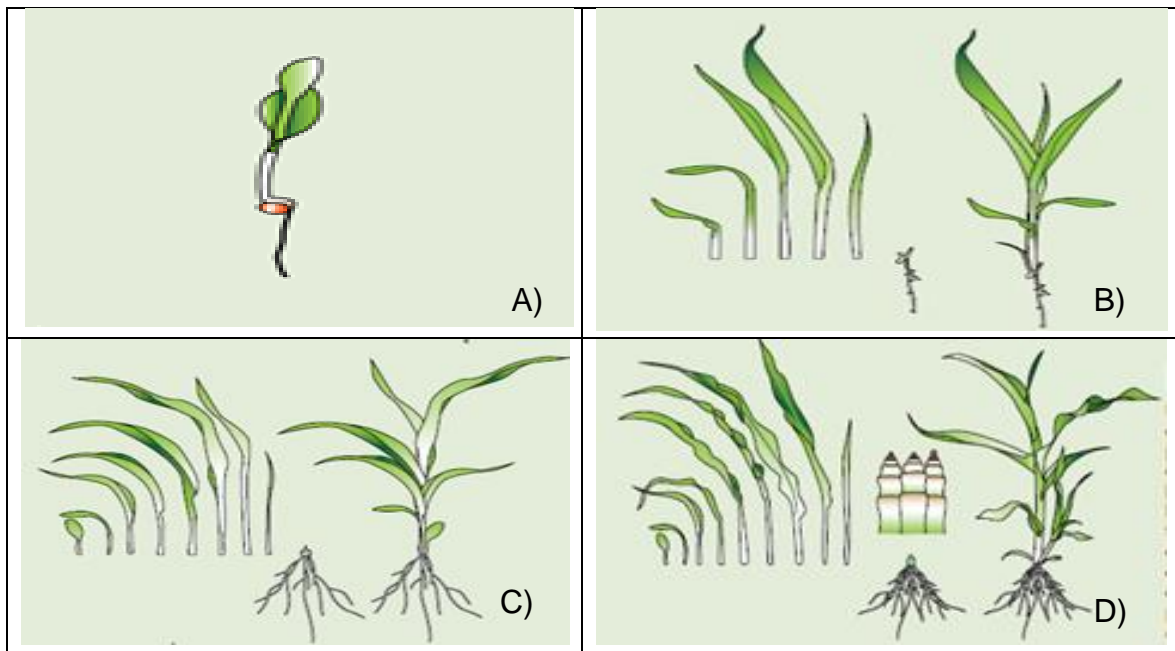
Familia: *Poaceae*

Género: *Sorghum*

Especie: *Sorghum bicolor* (L.) Moench

2.6. Etapas de crecimiento y desarrollo del sorgo

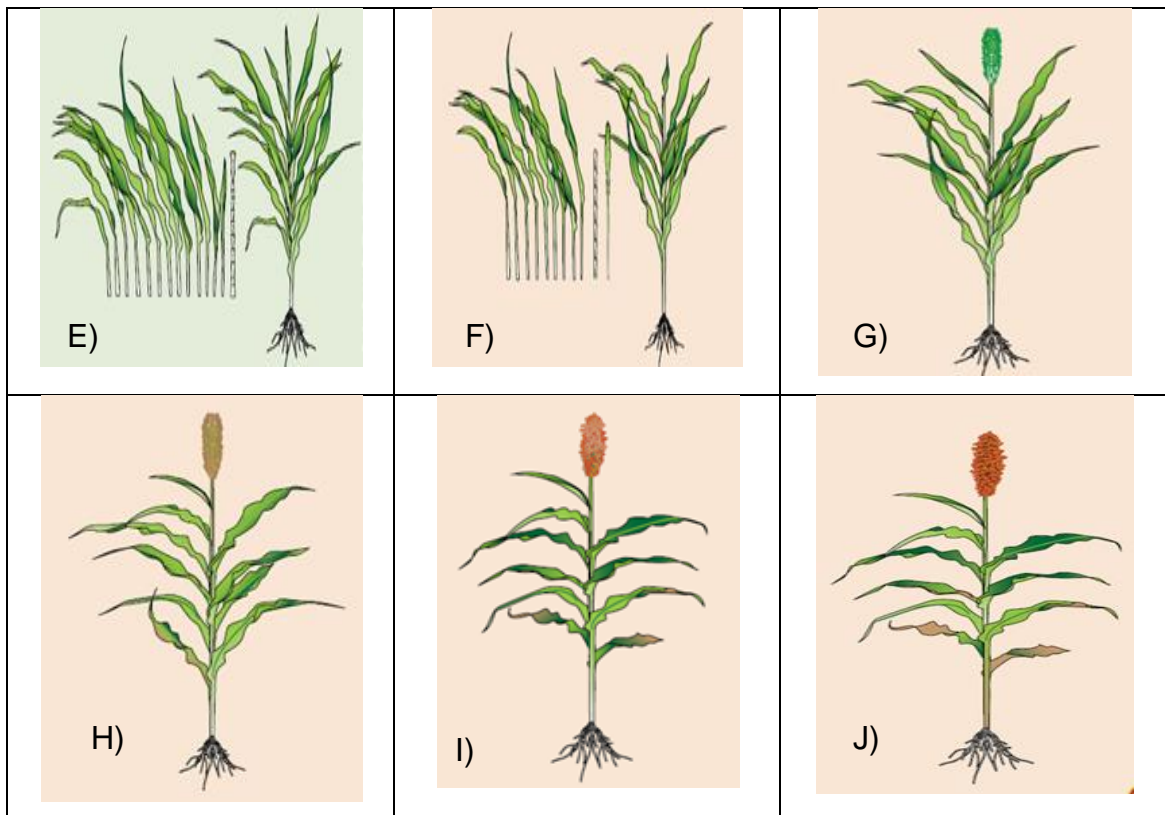
En la Figura 2, se presentan las primeras etapas en el cultivo del sorgo: A) Etapa 0, el coleóptilo emerge y es visible en la superficie del suelo. B) Etapa 1, tres hojas están completamente expandidas con sus lígulas visibles, este estadio ocurre entre 10 y 20 días después de la emergencia. C) Etapa 2, cinco hojas están completamente expandidas con sus lígulas visibles, el ápice de crecimiento se encuentra bajo la superficie del suelo, el sistema radical se expande rápidamente esto ocurre entre 20 y 25 días después de la emergencia. D) Etapa 3, la planta alcanza la máxima tasa de crecimiento y absorción de nutrientes. El ápice de crecimiento está por encima de la superficie y cambia de producir hojas a formar panícula (Ciampitii, 2016).



Fuente: modificado de Ciampitii, 2016.

Figura 2. Etapas iniciales en el cultivo del sorgo: A) Etapa 0, emergencia, B) etapa 1, tres hojas visibles. C) Etapa 2, cinco hojas visibles, D) Etapa 3, diferenciación del ápice.

La Figura 3, menciona las etapas intermedias y finales de crecimiento en sorgo: E) Etapa 4, se produce un rápido elongamiento del tallo e incremento en el área foliar. La hoja bandera es visible en la parte superior de la planta, en esta etapa se ha alcanzado el 20% del crecimiento total. F) Etapa 5, se determina el tamaño y el número potencial de granos por panícula, el pedúnculo empieza a elongarse, este ocurre entre 50 y 60 días después de emergencia. G) Etapa 6, la floración ha alcanzado el 50% de la panícula y la planta el 50% de su crecimiento total. H) Etapa 7, la formación de granos se inicia inmediatamente después de floración y éstos se llenan rápidamente alcanzando el 50% de su materia seca total. Un estrés severo en esta etapa, puede producir granos abortados y/o livianos (Ciampitii, 2016).



Fuente: modificado de Ciampitii, 2016.

Figura 3. Etapas intermedias y finales del cultivo del sorgo: E) Etapa 4, hoja bandera visible, F) Etapa 5, estado de embuche, G) Etapa 6, etapa de floración, H) etapa 7, grano masoso, I) Etapa 8, grano duro, J) Etapa 9, madurez fisiológica.

I) Etapa 8, los granos alcanzan el 75% de su materia seca final y la absorción de nutrientes, ha sido casi completada. Durante esta etapa, un estrés severo puede reducir el peso de los granos, pero no en la misma magnitud, respecto a la etapa grano masoso. J) Etapa 9, los granos alcanzan su máximo peso seco. La madurez del grano se identifica por la capa negra, en la parte inferior. La humedad del grano se encuentra en un rango de 25 a 35%.

2.7. Tipos de sorgos

El sorgo posee una gran versatilidad de uso y de adaptación a diferentes condiciones de suelo, clima y tecnología. La elección de sorgos y la forma de utilización de los mismos (en pie verde, ensilado, o grano) va a depender del tipo de sistemas de producción utilizado: cría, recría, engorde (Carrasco *et al.*, 2011).

2.7.1 Sorgo para grano

El sorgo para grano es uno de los cultivos anuales más importantes en México. Este cereal se utiliza para consumo humano y animal. En 2020 se cultivaron 1.4 millones de hectáreas con una producción de 4.3 millones de toneladas. Tamaulipas es el estado con mayor producción de sorgo en México (SIAP, 2020).

2.7.2 Sorgo para ensilaje

El uso del sorgo en la forma de ensilaje es favorecido por presentar este cultivo niveles de carbohidratos solubles, relativamente bajos, contenido de materia seca superior al 20 % y estructura física que favorece la compactación durante el llenado del silo. El ensilaje de sorgo presenta varias ventajas cuando es comparado con el ensilaje de maíz, incluyendo menores costos de producción, mayor tolerancia a sequía, así como mejor capacidad de recuperación luego de largos períodos de sequía y mayor producción de materia seca bajo estas condiciones (Araújo *et al.*, 2002). Para una producción de calidad, es necesario prestar mucha atención al proceso de elaboración,

desde la elección del cultivo, el período ideal de corte y etapa de maduración Cuadro 2, el tamaño de las partículas, la compactación del suelo, el tiempo y la eficiencia del sellado, entre otros factores (Comastri, 2021).

Cuadro 2. Porcentaje de uso de granos en el ensilaje de sorgo.

Etapa de maduración	Granos de forraje ensilado (%)	Granos en heces (%)	Producción de granos Kg/MS/ha	Pérdida de granos Kg/MS/ha	Granos digeridos (%)
Lechoso	35.1	2.9	3.878	112	97.1
Masoso	45.2	9.8	4.381	429	90.2
Farináceo	48.9	13.1	5.696	746	86.9
Farináceo duro	51.3	14.7	5.691	836	85.3
Duro	47.1	13.3	5.206	692	86.7

Fuente: Comastri, (2021)

2.7.3 Sorgo para verdeo

La utilización de sorgo para verdeo, aporta una importante cantidad de forraje mayor a la obtenida del cultivo de maíz. Tradicionalmente, los sorgos utilizados para verdeo directo fueron los de tipo Sudán. Estos materiales son muy precoces, pero al encañar pierden calidad rápidamente. Actualmente, existen materiales con diferentes caracteres incorporados que superan en calidad a los clásicos sudan. Por un lado, los sorgos forrajeros nervadura marrón o BMR presentan una reducción en el porcentaje de lignina (fracción indigestible) que redundará en un incremento del porcentaje de digestibilidad del forraje. Dicha reducción varía entre un 5 y un 50% en función del gen BMR utilizado en la mutación. En Uruguay se han reportado incrementos en la digestión de la fibra para vacas consumiendo sorgo BMR vs. Sorgo tradicional. (Astigarraga *et al.*, 2014).

Como forraje fresco, los sorgos BMR presentan mayor calidad con respecto a los “sudan grass” (*Sorghum sudanense* L.). Son superiores en cuanto a la digestibilidad de la materia seca (MS), fracciones energéticas (carbohidratos solubles y almidón) y menores niveles de lignina. Con su utilización se han constatado grandes mejoras en los resultados productivos y económicos en sistemas ganaderos de diferentes regiones del mundo (Murray *et al.*, 2010).

2.8. Principales plagas del sorgo

El control de los insectos debe realizarse mediante el manejo integrado de plagas (MIP), esto comprende: utilización de insecticidas apropiados, uso de variedades resistentes o tolerantes, prácticas culturales (fecha de siembra, rotación de cultivos, eliminación de hospederos de insectos, manejo de los residuos de cosecha), control biológico y por supuesto, la observación detallada del cultivo con el objetivo de verificar las poblaciones de plagas y el daño causado (Compton, 1990).

2.8.1 Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*)

El gusano cogollero está presente en todos los estados de la República Mexicana, aunque es más abundante en las regiones tropicales y subtropicales. De acuerdo con inspecciones realizadas en campo, el gusano cogollero afecta aproximadamente al 70 % de los cultivos entre ellos el sorgo. Las larvas ocasionan pérdidas en la producción que van del 10 al 100 %, sobre todo si la planta es atacada cuando tiene entre 40 y 60 cm (Bautista y Morales, 2016).

2.8.2 Gusano soldado (*Spodoptera exigua*)

Es una plaga polífaga, motivo por el cual se encuentra ampliamente distribuida en el país. Las larvas de todos los instares causan daños, se alimentan del follaje, inflorescencias-frutos. Las larvas jóvenes se alimentan de forma gregaria y dejan únicamente las nervaduras de las hojas; las larvas más desarrolladas hacen perforaciones irregulares en las hojas, regularmente se alimentan en el envés de las hojas, dejando atrás pequeñas telas de seda (Capinera, 2014). Cuando se alimentan de los granos de sorgo, las larvas hacen agujeros circulares o irregulares, superficiales poco profundos (Natwick *et al.*, 2012).

2.8.3 Trips (*Frankliniella spp.*)

En los primeros estados fenológicos del cultivo de sorgo, los trips se localizan en la parte interna de las hojas jóvenes y en el interior del cogollo.

Mediante su aparato bucal raspador-chupador succionan savia, que sale por las heridas realizadas con sus estiletes, provocando la muerte de los tejidos vegetales. Los síntomas característicos pueden resumirse en manchas o estrías plateadas en las hojas, que según condiciones ambientales y avance del daño, cambian a color castaño; las hojas presentan áreas de color gris plateado, láminas marchitas, enroscadas y quemadas; en plantas jóvenes los insectos se localizan en la parte interna de las hojas (preferentemente en la punta y en los bordes) y en el interior del cogollo. En plantas jóvenes, poblaciones elevadas de estos insectos, pueden producir su muerte de las plántulas; en plantas con mayor desarrollo el daño se localiza en la base de las hojas y no afecta el rendimiento (Gamundi *et al.*, 2008).

2.8.4 Mosquita de la panícula (*Contarinia sorghicola*)

Es una de las principales plagas del sorgo a nivel mundial, ya que puede causar pérdidas de hasta el 100% si no se controla oportunamente. Esta plaga, tiene la característica de que pasa inadvertido por su tamaño pequeño, de tal manera que el daño sólo se aprecia al tiempo de maduración del grano, cuando ya causó pérdidas al cultivo. Las larvas afectan directamente al ovario succionando la savia de la base de este órgano floral, evitando la formación del grano. Este daño es conocido como grano vano o grano vacío y es fácilmente confundible con aquel que es producto de la esterilidad, por falla en la fertilización como consecuencia de factores climáticos o genéticos (Aprolegua, 2000). La mosquita sobrevive de un ciclo a otro como larva en hospederos silvestres como el zacate Johnson, por lo que es necesario su eliminación (CESAVEG, 2004).

2.8.5 Pulgón amarillo del sorgo (*Melanaphis sacchari*)

Es una plaga exótica proveniente de África y Asia, de reciente introducción en México, que rápidamente se ha expandido hacia las distintas zonas productoras de sorgo del país: Coahuila, Guanajuato, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa, Veracruz y Tamaulipas (Peña-Martínez *et al.*, 2016).

2.8.5.1 Clasificación taxonómica

El pulgón amarillo del sorgo *Melanaphis sacchari* (Z) es un insecto plaga que ataca diferentes cultivos, fundamentalmente gramíneas, el cual se denomina con la siguiente clasificación taxonómica de acuerdo con el Museo Nacional de Historia Natural de Francia (2017):

Reino: *Animalia*

Phylum: *Arthropoda*

Clase: *Hexapoda*

Subclase: *Insecta*

Infraclase: *Pterygota*

Clado: *Neoptera*

Orden: *Hemiptera*

Suborden: *Sternorrhyncha*

Superfamilia: *Aphidoidea*

Familia: *Aphididae*

Género: *Melanaphis*

Especie: *Melanaphis sacchari* (Zehntner)

2.8.5.2 Importancia económica

Melanaphis sacchari es una plaga común de sorgo en África tropical, Asia y del extremo oriente de América, puede atacar en todas las etapas del cultivo, pero el daño económico usualmente ocurre durante las etapas posteriores al desarrollo vegetativo. El daño que causa es debido a que succiona la savia de las hojas, ocasionado que tomen una coloración marrón, presentando un retraso en su crecimiento y afectando el rendimiento del cultivo. Como daño indirecto, sobre la melaza que es producida por el pulgón puede crecer Fumagina, afectando la capacidad fotosintética de la planta. Se tienen reportes de que *Melanaphis sacchari* puede transmitir virus como Sugarcane

mosaic virus (SCMV), Sugarcane yellow leaf virus (ScYLV) y otras enfermedades (CABI, 2014).

2.8.5.3 Impacto económico de la plaga

La introducción y diseminación de esta plaga en México, si no se llevan a cabo medidas de control podría afectar la producción de sorgo, caña de azúcar, granos y cereales, que de acuerdo al SIAP (2014) asciende a 13 036 822.80 hectáreas de superficie sembrada, con un valor de la producción de 153 727 530.26 miles de pesos.

2.8.5.4 Hospedantes

Los hospedantes principales del pulgón amarillo son sorgo, avena, caña de azúcar, trigo y cebada, y como secundarios, arroz, maíz y algunos pastos Cuadro 3. De acuerdo al SIAP (2014), el cultivo hospedante primario con mayor superficie es sorgo, con 2, 203,639.4 ha, le sigue avena con 946,797.72 ha y caña de azúcar con 826,614.29 ha. El cultivo del maíz es considerado como hospedante secundario, con una superficie reportada de 8, 033,197.5 ha.

Cuadro 3. Principales hospedantes de pulgón amarillo (*Melanaphis sacchari*).

Familia	Hospedante	Nombre científico	Nombre común
Poaceae	Primario	<i>Avena sativa</i>	Avena
		<i>Saccharum officinarum</i>	Caña de azúcar
		<i>Sorghum bicolor</i>	Sorgo
		<i>Triticum aestivum</i>	Trigo
		<i>Hordeum vulgare</i>	Cebada
Poaceae	Secundario	<i>Oryza sativa</i>	Arroz
		<i>Zea mays</i>	Maíz
Poaceae	Silvestre	<i>Setaria</i>	Pasto
		<i>Penisetum</i>	Pasto
		<i>Echinochloa</i>	Pasto
		<i>Miscanthus</i>	Pasto

Fuente: CABI (2014).

2.8.5.5 Ciclo biológico

La reproducción de *Melanaphis sacchari* es predominantemente asexual, con hembras adultas ápteras y aladas que dan origen a ninfas (Voegtlin *et al.*, 2003).

La duración del ciclo de este insecto en promedio va de dos semanas hasta 28 días, con aproximadamente 96 ninfas por hembra (López y Fernández, 1999). El Pulgón amarillo presenta 4 estadios ninfales, los cuales se desarrollan en aproximadamente 5.4 días a 25 °C. Los adultos ápteros tienen una longevidad de 11.7 días promedio y pueden dar origen a 46 ninfas/hembra. La forma alada tiene una longevidad promedio de 7.5 días y da origen a 10.6 ninfas/hembra. Debido al potencial de reproducción de *Melanaphis sacchari*, una sola planta puede ser atacada hasta por 30,000 áfidos (Gómez-Souza y Díaz, 1999).

2.8.5.6 Descripción morfológica

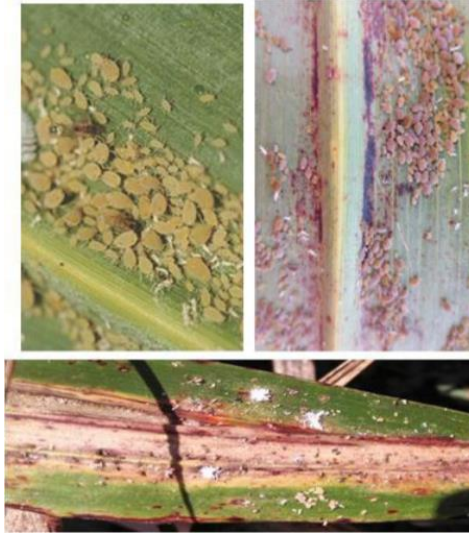
Son pequeños, de coloración variable, lo que depende de la planta hospedante y de las condiciones ambientales (de color amarillo pálido, amarillo-marrón, marrón oscuro, púrpura o incluso rosado), pueden ser alados y ápteros, tienen marcas dorsales escleróticas oscuras. Alcanzan un tamaño generalmente de 1.1 – 2.0 mm (Blackman y Eastop, 1984).

2.8.5.7 Daños

El daño ocasionado por el pulgón amarillo en el sorgo depende de varios factores, entre ellos, la densidad y duración de la infestación del pulgón (Singh *et al.*, 2004). Poblaciones altas producen grandes cantidades de mielecilla que provocan la unión de las hojas, interfieren con la cosecha y reducen el rendimiento del cultivo (Royer, 2014) hasta en 100% (SDAYR, 2016).

El insecto causa daños en la planta al alimentarse de la savia en hojas y a lo largo del tallo, lo que ocasiona estrés y reducción de la eficiencia fotosintética, con incidencia de moho o fumagina (Figura 4), dada la producción

de miel de rocío excretada por estos insectos (Singh *et al.*, 2004). Otro de los daños importantes ocasionados por esta plaga en sorgo son los síntomas en las hojas infestadas las que cambian del color verde al amarillo, purpura, y, finalmente, marrón como declinación de vigor, retraso en el crecimiento, hasta la necrosis de las hojas maduras (Bowling *et al.*, 2016).



Fuente: Singh *et al.* (2004)

Figura 4. *Melanaphis sacchari* en el envés de la hoja, manchas rojas en la hoja ocasionadas por el daño de este insecto.

2.8.5.8 Epidemiología de la plaga

La temperatura es la variable meteorológica de mayor efecto en la tasa de desarrollo de *Melanaphis Sacchari*, el número de ninfas por hembra está afectado por la temperatura. El tiempo necesario para llegar adulto y completar una generación es muy corto a 15°C tarda 10.9 días, a 20°C 7.3, a 25°C 5.2 y 30°C 3.5 días, su óptimo para la reproducción esta entre 20 y 25°C. El estado fenológico de cultivo tiene un efecto significativo en el crecimiento de la población, además de que la temperatura favorece la dispersión (Chang *et al.*, 1982).

2.8.5.9 Dispersión

La etapa de desarrollo del cultivo de sorgo y la temperatura tienen efectos significativos en el incremento de la población, que a su vez propicia la dispersión. Temperaturas entre 15.1°C y 31.0°C por un periodo de 6 a 10 días favorecen la diseminación del insecto. El viento es un importante factor en la diseminación ya que el pulgón puede ser transportado por corrientes de aire. El movimiento de maquinaria de una zona a otra puede ser un factor importante en la dispersión (Singh *et al.*, 2004).

2.8.5.10 Métodos de detección

Para la detección de los pulgones migrantes se recomienda utilizar recipientes amarillos con agua, lo que facilitara la realización de medidas de control oportunas antes de su establecimiento en el cultivo (Singh *et al.*, 2004).

2.8.5.11 Control genético

La resistencia genética, sobre todo de híbridos de sorgo con tolerancia o resistencia, ha sido una táctica usada en el manejo en campo de esta plaga, debido a su facilidad de uso y su compatibilidad con los enemigos naturales. Sin embargo, los niveles de resistencia pueden variar de acuerdo con las condiciones climáticas prevalecientes (Brewer y Elliot, 2004). Se han identificado tres categorías de resistencia: antibiosis, antixenosis y tolerancia.

El mecanismo de antibiosis afecta el crecimiento, desarrollo o supervivencia del insecto en la planta, comúnmente ejerce un efecto adverso sobre el ciclo, fertilidad y longevidad del insecto que se alimenta en ésta, les permite a las plantas no compatibilizar con el insecto, evitando que éste la utilice para ovoposición, alimento o refugio (Wu y Baldwin, 2009).

La antixenosis en las plantas de sorgo pueden estar vinculadas a fuentes morfofisiológico-bioquímica, como mayor distancia de entrenudos en las hojas, láminas de cera gruesas, menor ángulo de hojas respecto al tallo (erectas y semi-erectas), contenidos de polifenoles, y niveles altos de HCN (Hernández-

Martínez *et al.*, 2015). La cubierta de cera en la hoja y tallo de la planta de sorgo, protege los tejidos del estrés abiótico como sequía (Liu *et al.*, 2014) y de estrés biótico como insectos (Khan *et al.*, 2015).

Mientras que la tolerancia es la capacidad de los hospedantes de superar el ataque de un insecto, sin que tenga una pérdida significativa de la calidad y cantidad de su producción. Una misma planta puede portar más de un mecanismo de resistencia. La combinación de distintas categorías tiene efectos más benéficos que aquellos aportados por cada una en forma individual (Perales, 2019).

2.8.5.12 Control cultural

Se recomiendan mejorar el suelo, el riego, la plantación cerrada, aplicación del fertilizante y el manejo de la parcela y sus alrededores dando un corte de la maleza en otoño, cuando las plagas migren de sorgo a la maleza para pasar el invierno (CABI, 2014). La siembra temprana puede ocasionar que el cultivo escape del ataque de la plaga. En el caso del sorgo forrajero dado que los áfidos hibernan en las socas de sorgo y malezas se recomienda su destrucción, antes de que el cultivo de sorgo sea plantado reduciendo las poblaciones de la plaga. Asimismo, se pueden utilizar trampas amarillas con agua para capturar áfidos migrantes en campos de sorgo para predecir su patrón migratorio y dinámica poblacional (Singh *et al.*, 2004).

2.8.5.13 Control biológico

Se han documentado más de 47 especies de enemigos naturales atacando a *Melanaphis sacchari* en todo el mundo, éstos juegan un papel muy importante, ya que frecuentemente mantienen las poblaciones de áfidos por debajo de los umbrales económicos en el cultivo de sorgo (Singh *et al.*, 2004).

Se ha dado énfasis al uso de depredadores, como catarinas (Coleóptera: Coccinellidae), crisopas (Neuroptera: Chrysomelidae y Hemerobiidae) y sírfidos (Díptera: Syrphidae) como agentes que causan mayor mortalidad en las

poblaciones de pulgón amarillo. *Hippodamia convergens* es una de las especies de coccinélidos más conocidas en América y es comúnmente colectada en México. La presencia de *H. convergens* (Figura 5), como depredador del pulgón amarillo en sorgo en el país (Reyes-Rosas *et al.*, 2012; Rodríguez-Palomera *et al.*, 2016).



Fuente: Reyes-Rosas *et al.*, (2012)

Figura 5. Larva de *Hippodamia convergens* atacando al pulgón amarillo en sorgo.

Es importante mencionar que las hormigas interfieren con las actividades benéficas de los depredadores o parasitoides, ya que en muchos casos existe simbiosis entre las hormigas y pulgones (Colares *et al.*, 2015).

2.8.5.14 Control químico

En el método de control químico se recomienda hacer aplicaciones dirigidas al estrato de la planta con mayores poblaciones y localizado en las áreas críticas para un combate eficiente. Algunos productos recomendados para el control de áfidos son Pirimicarb (en cultivos de maíz y trigo), Malathion (en arroz, avena, cebada, maíz, pastos, sorgo y trigo), Imidacloprid (en caña de azúcar, cebada, cártamo, maíz, sorgo y trigo), y Thiametoxam (en maíz, y trigo); (Coto y Saunders, 2004; DGIAAP-SENASICA, 2013).

2.9. Principales enfermedades del sorgo

2.9.1 La roya del sorgo (*Puccinia sorghi*)

Es una de las principales enfermedades con mayor incidencia y severidad que se presenta en los sorgos, especialmente en los criollos. Los síntomas presentes son manchas purpuras, rojas o castañas, esparcidas en ambas caras de las hojas. El color es variable según el grado de pigmentación de las variedades del sorgo hospedantes (Gorakhanath, 2015).

La infección puede comenzar desde la aparición de las primeras hojas. Asimismo, puede sobrevivir en hospedantes secundario. La diseminación dentro del cultivo y a distancia, se produce por el viento. El patrón de distribución en el lote es generalizado y uniforme (Silva *et al.*, 2016).

2.9.2. Mancha gris de la hoja (*Cercospora sorghi*)

La mancha gris, es probablemente la enfermedad foliar del cultivo de sorgo de mayor distribución mundial y en el noroeste argentino es una de las más comunes (Díaz *et al.*, 2009). Los síntomas típicos consisten en lesiones rectangulares en hojas, paralelas a las nervaduras, en general delimitadas por las mismas, con tonalidades variables desde rojizo, púrpura hasta castaño. En lesiones de mayor tamaño y más viejas, principalmente en el envés de las hojas, se observa con frecuencia una felpilla blanco-grisácea, constituida por abundantes estromas desde donde surgen conidióforos y conidios. Esta felpilla blanco-grisácea corresponde al signo y le otorga el nombre a la enfermedad. Su desarrollo es favorecido por condiciones continuas de mojado foliar y temperaturas elevadas. En ataques severos las lesiones pueden unirse y formar bandas longitudinales o manchas irregulares que abarcan grandes áreas de la hoja y ocasionan su secado (Panizzi *et al.*, 2005).

2.9.3. Ergot del sorgo (*Sphacelia spp.*)

El ergot o enfermedad azucarada del sorgo es ocasionado por tres especies del género *Claviceps*, *C. sorghi*, *C. sorghicola* y *C. africana*. La última fue identificada en nuestro país en 1997 (Delhey, 2017). El ergot sucede por una infección específica de la flor del sorgo, la cual ocurre únicamente si los conidios se depositan sobre el estigma de un ovario no fecundado. Cualquier factor que reduzca la viabilidad del polen y/o retrase la polinización y la posterior fecundación, favorece la infección mientras exista inoculo viable. La enfermedad es de mayor importancia en lotes de producción de semilla híbrida, donde las flores androestériles permanecen viables y susceptibles, antes de ser fecundadas por el polen. Las condiciones óptimas para la infección y el desarrollo de la enfermedad son temperaturas moderadas y alta humedad relativa durante la antesis (Panizzi *et al.*, 2005).

Entre las técnicas recomendadas para el manejo de la enfermedad se citan: semilla libre del patógeno y tratada con fungicidas como (captan 140 - 320 cc/100 kg o thiram 36% 175 cc/100 kg), siembras tempranas para que la floración no coincida con bajas temperaturas y largos períodos de mojado foliar, rotación de cultivos (4-5 años), aplicar fungicidas al cultivo como triadimenol 25% (300-500 cc/ha, entre los 5-7 días desde inicio de antesis, hasta fin de floración) y otros productos a base de triazoles como son : tiabendazole, propiconazole, tebuconazole (Velázquez y Formento, 2014).

2.10 Análisis de Componentes Principales

Con el análisis de componentes principales (ACP) es posible reducir un conjunto amplio de variables correlacionadas a un menor número de componentes principales (combinaciones lineales de las variables originales) no correlacionados. Lo que permite obtener una gráfica de dispersión de los genotipos y su relación con las variables analizadas en una gráfica biplot, con propiedades óptimas para la interpretación de la variabilidad presente (Arroyo, 2005). Cuando se trabaja con datos de naturaleza continua (cuantitativos), obtenidos a partir de variables morfológicas se recomienda trabajar con el análisis de componentes principales (Balzarini, 2006). Villeda (2014) implemento un ACP, para caracterizar morfológicamente 15 genotipos de sorgo con bajo contenido de lignina utilizando 17 variables morfológicas para definir su identidad. El análisis determinó que los 15 genotipos están agrupados en tres componentes principales que explican el 78.02 % de la variabilidad total.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del sitio experimental

El presente trabajo de investigación se estableció durante el ciclo agrícola primavera-verano, 2021, bajo condiciones de campo abierto en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en el Campo Experimental “El Bajío”, en Buenavista, Saltillo, Coahuila, el cual se encuentra ubicado a una latitud de 25° 21'33" N, longitud de 101°02'20" W y a una altitud de 1, 731 msnm (Google Earth, 2021). La temperatura promedio anual es de 18 a 22°C con un clima seco y semi-seco.

3.2. Material genético

El germoplasma utilizado consistió de seis genotipos de sorgo (Cuadro 4) pertenecientes al Programa de Mejoramiento de Sorgo del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS) del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Cuadro 4. Genotipos de sorgo (*Sorghum bicolor*) estudiados en la presente investigación.

Número de identificación	Genotipos	Número de identificación	Genotipos
1	LES 285	4	LES 118
2	LES 86	5	LES 188
3	LES 28	6	LES 267

3.3. Diseño experimental

En el presente trabajo de investigación se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, de acuerdo a Condo y Pazmiño (2015) este diseño es el más utilizado tanto por su flexibilidad, así como en su análisis estadístico. Se utilizaron seis líneas experimentales de sorgo con tres

repeticiones. El tamaño de la parcela fue de tres surcos de 6 m de largo, con una distancia de 0.80 m entre surcos y de 0.10 entre plantas.

3.4. Variables evaluadas al momento de la cosecha

Se seleccionaron tres plantas al azar en competencia completa de cada línea experimental, para el registro de datos en las siguientes variables:

3.4.1. Días a floración (DF)

Esta variable se evaluó cuando en la parcela las plantas de sorgo, presentaban el 50% de las panículas en antesis media.

3.4.2. Altura de planta (AP)

Se utilizó una cinta métrica y se midió desde la base del tallo de la planta, hasta la punta superior de la panícula, reportándose en centímetros (cm).

3.4.3. Longitud de excursión (LE)

Se utilizó una cinta métrica, se midió la distancia que hay entre la hoja bandera a la base del cuello de la panícula y se reportó en centímetros (cm).

3.4.4. Longitud de panícula (LP)

Se utilizó una cinta métrica y se midió del punto de inserción a la punta de la panícula, el resultado se reportó en centímetros (cm).

3.4.5. Índice de daño por aves (IDA)

Se realizó la evaluación de acuerdo al porcentaje de grano del sorgo que habían sido consumido por aves, donde 0% indica que no tuvo daño por aves y 100% es pérdida total del grano en la panícula.

3.4.6. Índice de enfermedades foliares (IEF)

Se evaluó en forma visual mediante una escala de 1 al 5. Dónde: (1) es completamente sana; (2) de 1 a 10% de daño; (3) de 11 a 25% de daño; (4) de 26 a 40% de daño; y (5) más de 41% de daño. La toma de datos (IEF), se realizó de acuerdo a las recomendaciones sugeridas por (House, 1985).

3.4.7. Grados Brix (GB)

Se evaluaron dos muestras por plantas tomadas al azar que se encontraran en competencia completa en la parcela experimental, en donde se extrajo el jugo del tallo de la planta en el entrenudo de la parte central y se colocó en un refractómetro portátil. Posteriormente, se obtuvo la lectura correspondiente de la concentración de azúcares en grados Brix en la planta de sorgo.

3.4.8. Numero de pulgones amarillos por planta (NPP)

Se realizó un conteo cuantitativo de pulgones presentes, en tres plantas al azar por cada genotipo evaluado, para determinar la incidencia presente en la planta.

3.4.9. Rendimiento de grano en g/planta (RGP)

Se cosecharon y desgranaron tres panículas al azar por genotipo y se determinó el promedio de su peso con ayuda de una balanza analítica.

3.5. Análisis estadístico univariado

Los datos de todas las variables se sometieron a un análisis de varianza conforme a un diseño de bloques completos al azar y a la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($p \leq 0.05$), bajo el siguiente modelo estadístico.

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Observaciones de i -ésimo tratamiento en la j -ésima repetición.

μ = Media general del carácter en estudio.

t_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

β_j = Efecto del j -ésimo bloque.

ϵ_{ij} = Error experimental en la unidad j del tratamiento i .

- Los errores (ϵ_{ij}) se distribuyen normal e independientemente con la media cero y la varianza igual a σ^2 .
- No hay interacción entre los tratamientos y bloques, o sea que el efecto t_i es el mismo en todos los bloques.

Para verificar la eficiencia del manejo de los experimentos, se estimó el coeficiente de variación en cada una de las variables analizadas con la siguiente fórmula:

$$\text{C. V. (\%)} = \frac{\sqrt{\text{CMEE}}}{\bar{x}} \times 100$$

Donde:

C.V. = Coeficiente de variación.

CMEE = Cuadrado medio del error experimental.

\bar{X} = Media general de tratamientos.

100 = Constante para expresar el C.V. en porcentaje.

Prueba de medias (Tukey)

Para la comparación de medias de cada una de las variables, se realizó mediante la siguiente fórmula:

Calcular: $\text{DMSH} = q(\alpha, T, \text{gl-error}) * S_{\bar{x}}$

Dónde:

$q(\alpha, T, \text{gl-error})$ = Valor tabular de Tukey que se encuentra en las tablas, con número de tratamientos T , grados de libertad del error y el nivel de significancia α .

$S_{\bar{x}}$ = error estándar de la media = $\sqrt{\text{CME}/r}$

3.6. Análisis estadístico multivariado

Análisis de Componentes Principales (ACP).

En este análisis se utiliza una matriz X de orden $(n \times p)$, de np observaciones correspondientes a los valores de p variables de cada una de n unidades de estudio (genotipo) y consiste en transformar un conjunto de variables x_1, x_2, \dots, x_p a un nuevo conjunto de variables y_1, y_2, \dots, y_p . Estas nuevas variables deben tener las siguientes propiedades (Johnson, 2000):

1. Es una combinación lineal de las x 's. Por ejemplo, para el primer componente. $Y_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1p}x_p = a_1'x$. Donde $x = [x_1 \ x_2 \dots \ x_p]$ es el vector de valores muestrales de las variables originales, y a_{ij} es el valor del j -ésimo elemento del vector característico a_1 asociado al valor característico más grande λ_1 .
2. En forma matricial para todos los componentes, $Y = XA$, en donde Y es la matriz de orden $n \times p$ de componentes principales; A es una matriz de orden $p \times p$ de vectores característicos y X es la matriz de orden $n \times p$ de observaciones.
3. La suma de cuadrados de los coeficientes a_{ij} para cada i ($j=1, 2, \dots, p$) es la unidad.
4. De todas las posibles combinaciones, Y_1 tiene la máxima varianza: $\text{Var}(Y_1) > \text{Var}(Y_2) > \dots > \text{Var}(Y_p)$.
5. Las Y no están correlacionadas, por lo que los componentes generados no están asociados entre sí.

Para la realización de los Análisis estadísticos se utilizó el paquete estadístico Minitab 16 (2009).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este experimento se utilizó el diseño de bloques completos al azar para determinar, si existen diferencias estadísticas entre las medias de los tratamientos en sorgo. En el análisis de varianza Cuadro 5, se observa una amplia variabilidad en el germoplasma evaluado ya que se obtuvieron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre genotipos para todas las variables analizadas. Además, se presentaron bajos coeficientes de variación en la mayoría de las variables, excepto para incidencia de daño por aves (IDA) en la cual registro un alto coeficiente de variación de 38.79%.

Cuadro 5. Cuadrados medios del análisis de varianza y significancia de nueve características de genotipos de sorgo (*Sorghum bicolor*).

F.V.	G.L.	DF ¹	AP	LE	LP	IDA ²	EF	GB	NPP	REN
Genotipos	5	56.4**	6256.4**	164.8**	78.2**	8.36**	0.50**	13.5**	356.9**	1742.8**
Bloques	2	4.1	189.7	9.0	0.3	0.425	0.0017	0.39	57.1	35.7
Error	10	0.97	53.7	4.89	1.49	0.425	0.0017	0.39	39.1	28.9
Total	17									
Media		84.0	171.8	12.8	24.1	1.68	1.2	11.5	25.0	72.6
C.V. (%)		1.17	4.27	17.23	5.07	38.79	3.53	5.45	25..01	7.41

¹DF= días a floración, AP= altura de planta, LE= longitud de excursión, LP= longitud de panícula, IDA= incidencia de daño por aves, EF= incidencia de enfermedades, GB= grados Brix, NPP= número de pulgones amarillos por planta, REN= rendimiento. **Significativo al 0.01 de probabilidad. C.V.%= coeficiente de variación. ²Datos transformados por $\sqrt{x+1}$.

En la prueba de comparación de medias Cuadro 6, los resultados indican que para días a floración (DF), los genotipos G6, G1 y G5 fueron los más tardíos contrastando con los genotipos G4 y G3 que resultaron estadísticamente ($p < 0.05$) los más precoces; esto influyó en el rendimiento dando como resultado que los genotipos con mayores días a floración superaran en rendimiento a los genotipos más precoces. Al respecto, Williams-Alanís *et al.* (2021) al evaluar la variedad de floración precoz RB-Paloma, señalan que las variedades precoces producen menor rendimiento, debido a que se reduce su periodo de crecimiento y a su vez afirma que el rendimiento de grano se incrementa al tener un ciclo vegetativo mayor.

Para la variable altura de planta (AP), el genotipo G6 registró la mayor altura (252.3 cm), esta característica favorece la utilización de este genotipo tanto para la producción de grano como para forraje. El genotipo G3 estadísticamente fue el de menor altura de planta (113.0 cm), además este genotipo presentó el más corto período de días a floración.

Cuadro 6. Comparaciones de medias de las variables analizadas en genotipos de sorgo (*Sorghum bicolor*), ordenadas con respecto a mayor rendimiento.

Genotipo	DF ¹ días	AP cm	LE cm	LP cm	IDA ² %	EF ³ (1-5)	GB °Brix	NPP no.	REN g/planta
G6	87 a	252.3 a	3.5 c	15.8 d	26.6 a	2 a	9.4 bc	11.0 b	112.6 a
G1	86 ab	163.0 bc	4.5 c	28.0 ab	0.0 b	1 b	9.1 c	24.6 b	78.8 b
G2	84 bc	164.5 bc	20.0 a	22.5 c	0.0 b	1 b	11.2 b	25.0 b	75.5 bc
G5	88 a	156.0 c	17.5 ab	22.5 c	0.0 b	1 b	13.6 a	44.0 a	66.6 bc
G4	83 c	182.0 b	19.5 a	25.0 bc	0.0 b	1 b	14.3 a	19.0 b	62.5 c
G3	76 d	113.0 d	12.0 b	30.5 a	0.0 b	1 b	11.1 b	26.3 ab	39.2 d
Tukey 0.05	2.786	20.876	6.269	3.459	17.678	0.11	1.771	17.725	15.235

Medias con letras iguales en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey 0.05).¹DF= días a floración, AP= altura de planta, LE= longitud de excursión, LP= longitud de panícula, IDA= incidencia de daño por aves, EF= incidencia de enfermedades, GB= grados Brix, NPP= número de pulgones amarillos por planta, REN= rendimiento. ²Datos originales. ³Clasificación escala 1-5, donde: 1 planta sana, 5 planta muy enferma.

La longitud de excursión (LE) es una característica importante para la cosecha mecanizada, considerando una buena excursión aquellos genotipos que presentan una longitud mayor de 10 cm (House, 1985). Con respecto a los genotipos analizados el G3 (Cuadro 6) presentó un tamaño óptimo en esta característica a diferencia de los genotipos G6 (3.5 cm) y G1 (4.5 cm) los cuales tuvieron una reducida LE, esto ocasiona que las plagas y enfermedades de la hoja bandera sean transmitidas a la panícula y que, al momento de la cosecha mecanizada, no solo se cosechen las panículas sino parte del tallo y de las hojas provocando impurezas al grano ocasionando una baja calidad de grano y aumento en el contenido de humedad, lo cual puede ocasionar problemas en etapa de postcosecha (Villeda, 2014).

La longitud de la panícula (LP) es de gran importancia para el rendimiento, sin embargo, algunos genotipos de menor tamaño de panícula pueden presentar mayor peso de grano y un mayor número de espiguillas que

uno de mayor longitud, tal es el caso del G6 el cual con una reducida longitud de panícula fue el de mayor rendimiento de grano (112.6 g/planta), en contraste el genotipo precoz G3 que presentó una mayor longitud de panícula Cuadro 6 tuvo un menor rendimiento (39.2 g/planta). Este resultado concuerda con los obtenidos por Franco (2020) quien evaluó 27 genotipos de sorgo, indicando como resultados que el genotipo LES-267 con una longitud de panícula de 15.0 cm tuvo el mayor rendimiento (69.87 g/planta), en contraste el genotipo VAN-18 con una longitud de panícula de 26.0 cm presentó un rendimiento de 10.5 g/planta.

El genotipo G6 de grano de color blanco presentó un 26% de porcentaje de daños por aves (IDA), en el resto de genotipos que presentaron algún tipo de pigmentación la IDA fue de cero % , estos cultivares de sorgo presentan una capa de células denominada testa cuyo grado de pigmentación está asociado al contenido de taninos condensados (TC) presentes en el grano, estos genotipos de sorgo son resistentes al ataque de aves (Jaramillo, 2012); con respecto a los genotipos de sorgo de grano de color blanco Gómez (2012) menciona que poseen un bajo porcentaje de taninos (<0.25%) lo que permite que sean utilizados en la nutrición animal siendo su valor nutritivo notablemente superior a la variedades ricas en taninos.

En la variable incidencia de enfermedades (EF) se registraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre genotipos (Cuadro 6), el G6 se clasificó con un valor de 2 según la escala de House (1985) con respecto a la poca presencia de roya (*Puccinia purpurea*) y el resto con valor de 1, donde; 1= planta sana y 5= planta muy enferma, debido a la baja presencia de enfermedades en el experimento, como lo indica Saucedo (2008) se reduce la aplicación de altas cantidades de agroquímicos en particular fungicidas.

Para la variable grados Brix (GB) se observaron diferencias estadísticas ($p < 0.05$) entre genotipos. Los genotipos G4 (14.3 °Brix) y G5 (13.6 °Brix) presentaron la mayor cantidad de azúcares valores que se encuentran entre el rango de 12.4 a 24 °Brix, que comprende a los genotipos de sorgo dulce

(Elangovan *et al.*, 2014), esta característica es de suma importancia, ya que es determinante en el rendimiento de bioetanol por hectárea (Williams-Alanís *et al.*, 2017).

El pulgón amarillo (*Melanaphis sacchari*) es la principal plaga del cultivo de sorgo en México, ya que produce daños directos como insecto chupador e indirectos por la producción de mielecilla que propicia la presencia de fumagina (Pecina *et al.*, 2021). En la presente investigación se evaluó el número de pulgones por planta (NPP) en los seis genotipos de sorgo encontrándose diferencias significativas entre genotipos ($p < 0.05$). Se estimó un rango de infestación de 11 a 44 pulgones por planta (Figura 6), la medición de la presencia de pulgones en la planta se efectuó en la etapa final del llenado de grano.

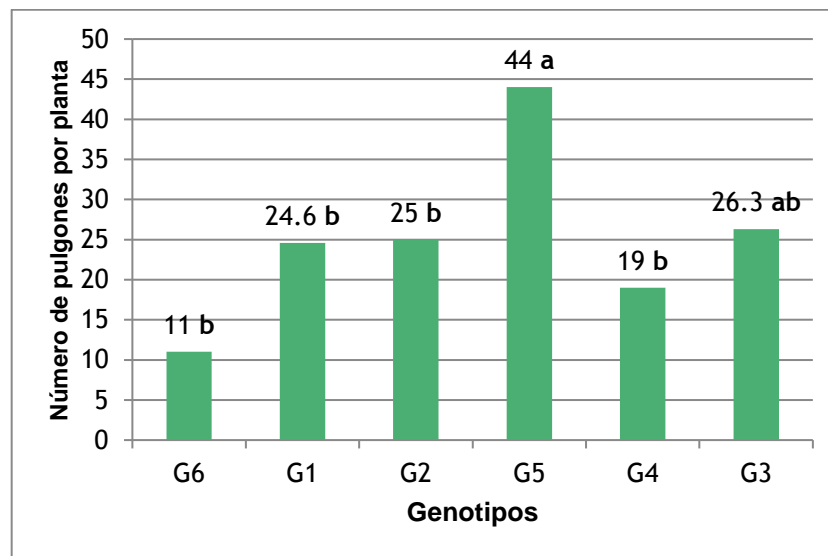


Figura 6. Promedio del número de pulgones por planta (NPP) en genotipos de sorgo bajo condiciones de infestación natural de campo.

Los genotipos evaluados mostraron tolerancia al ataque de pulgón dando como resultado la producción de grano por planta, sin que se tuviera una pérdida significativa de calidad y cantidad de producción (Perales, 2019). Estos promedios de infestación, no superaron el umbral del daño económico producido por el pulgón amarillo que incluye un número de 50 a 125 pulgones por hoja (Silva-Martínez *et al.*, 2019; Perales, 2019). El G6 destacó por su

mayor tolerancia al ataque del pulgón registrando 11 pulgones por planta, este genotipo presentó la mayor altura de planta (252.3 cm), característica que puede actuar como un mecanismo de defensa ante el ataque masivo del pulgón, en el cual la planta tiende a alargar sus tallos para dejar una mayor distancia entre las hojas inferiores y las inmediatas superiores, ya que así dificulta el desplazamiento del pulgón al resto de la planta (Jaimes, 2019). En contraste el genotipo G5 con una altura de planta de 156 cm, registró una alta presencia de pulgones por planta (44 NPP), lo cual también se puede relacionar a la preferencia del pulgón por este genotipo que tuvo una alta concentración de azúcares en la planta (13.6 °Brix).

Un alto rendimiento de grano por planta (REN) es una característica que indica tolerancia al pulgón amarillo en el cultivo de sorgo, entre los genotipos evaluados en el presente trabajo destacan: G6; LES 267 (112.6 g), G1; LES 285 (78.8 g) y G2; LES 86 (75.5 g) por su alto rendimiento de grano por planta Figura 7.

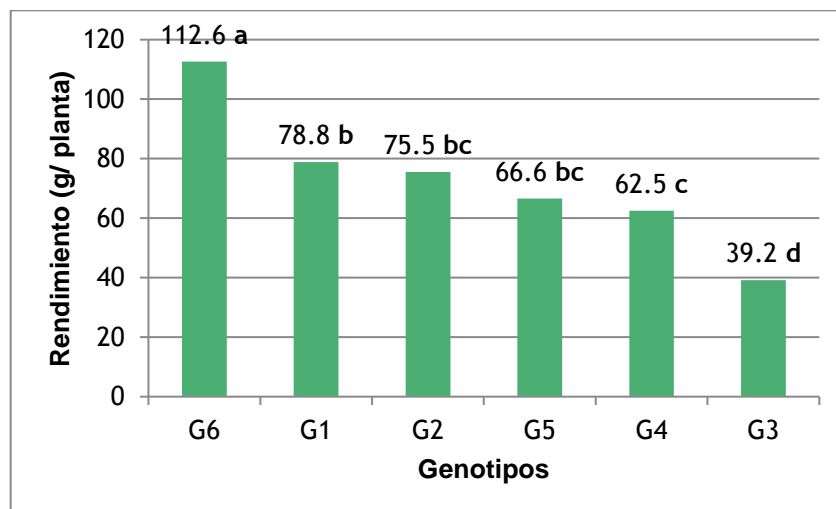


Figura 7. Promedios de rendimiento de seis genotipos de sorgo evaluados en el año 2021, en Buenavista, Coahuila.

Estos rendimientos superan a los reportados por Flores-Naveda *et al.* (2013) quienes evaluaron cinco líneas isogénicas A, B de sorgo para grano obteniendo rendimientos de 22.1 a 71.4 gramos por planta; rendimientos que también superan a los obtenidos por Jabereldar *et al.* (2017) quienes al evaluar

el comportamiento de cinco genotipos de sorgo en su respuesta a diferentes niveles de humedad obtuvieron en el ciclo del 2014 rendimientos de 27.1 a 55.4 gramos por planta y en el ciclo 2015 rendimientos de grano de 28.2 a 67.5 gramos por planta cultivados bajo condiciones de humedad. De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación los genotipos: G6, G1 y G2 poseen alto potencial de rendimiento de grano.

Análisis componentes principales (ACP)

El análisis de componentes principales es un método estadístico que analiza simultáneamente más de dos variables (Villeda, 2014). Con esta metodología se estudió la relación entre las variables y genotipos de sorgo evaluados en el presente experimento Cuadro 7.

Cuadro 7. Valores y vectores propios para los tres primeros componentes principales de las variables evaluadas en campo de genotipos de sorgo (*Sorghum bicolor*).

	CP1	CP2	CP3
Valor propio	5.6672	1.7967	0.9609
Proporción (%)	63.0	20.0	10.7
Acumulada (%)	63.0	83.0	93.6
Variables ¹	Vectores propios		
DF	0.230	0.472	0.522
AP	0.395	0.185	-0.156
LE	-0.269	0.458	-0.383
LP	-0.346	-0.384	0.112
IDA	0.397	-0.054	-0.178
EF	0.397	-0.054	-0.178
GB	-0.226	0.510	-0.412
NPP	-0.268	0.320	0.531
REN	0.400	0.132	0.170

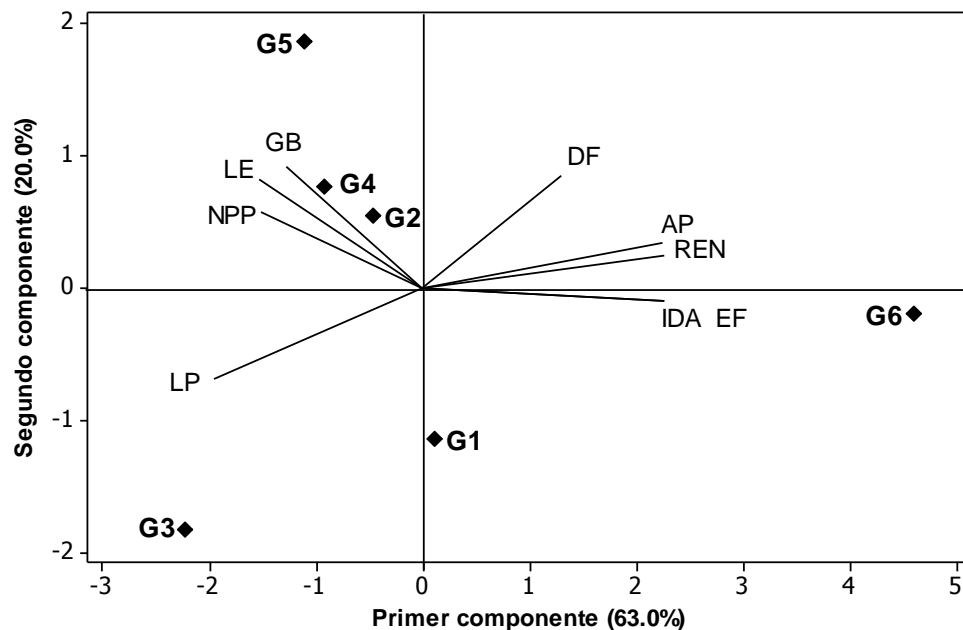
¹DF= días a floración, AP= altura de planta, LE= longitud de excursión, LP= longitud de panícula, IDA= incidencia de daño por aves, EF= incidencia de enfermedades, GB= grados Brix, NPP= número de pulgones amarillos por planta, REN= rendimiento. Variables de mayor peso representadas en negritas.

El ACP se realizó con la opción de la matriz de correlaciones que se utilizan cuando las variables están en diferentes unidades. Con los tres primeros componentes principales se explicó el 93.6 % de la variación total de los datos (proporción acumulada). Los primeros dos componentes principales

(CP), explican el 63 y 20% de la variación total, los cuales presentaron valores propios mayores a la unidad siendo los más relevantes ya que aportan una mayor explicación de la variación total. En los vectores propios las variables con mayor valor absoluto se presentan en negritas Cuadro 7. En el primer componente principal (CP1) sobresalen las variables REN, IDA y EF por tener una mayor influencia en la distribución de los genotipos. En el segundo componente principal (CP2) las variables de mayor peso incluyen GB, DF y LE.

La gráfica biplot Figura 8 conformada por los dos primeros componentes explican el 83.0% de la variación total de los datos. Este resultado es suficiente para representar confiablemente la relación entre las variables y los genotipos (Arroyo *et al.*, 2005). En esta gráfica también se observa la relación entre variables, donde los ángulos agudos indican correlaciones positivas, ángulos obtusos corresponden a correlaciones negativas y ángulos rectos indican que no hay correlación entre las variables (Balzarini *et al.*, 2006).

Con respecto a la ubicación de los genotipos en la gráfica, en el lado derecho del Primer componente se sitúan los genotipos G6 (112.6 g/planta) y G1 (78.8 g/planta) los cuales representan los más altos promedios para rendimiento (REN), en contraste el G3 (39.2 g/planta) situado en el lado izquierdo de la gráfica obtuvo el más bajo rendimiento. En el segundo componente los genotipos G5 (13.6 °Brix), G4 (14.3 °Brix) y G2 (11.2 °Brix) situados en la parte superior de la gráfica presentaron los mayores promedios de contenido de azúcares superando a los genotipos G6 (9.4 °Brix) y G1 (9.1 °Brix) ubicados en la parte inferior de la gráfica.



DF= días a floración, AP= altura de planta, LE= longitud de excersión, LP= longitud de panícula, IDA= incidencia de daño por aves, EF= incidencia de enfermedades, GB= grados Brix, NPP= número de pulgones amarillos por planta, REN= rendimiento; Gn = genotipos.

Figura 8. Gráfica biplot que muestra las variables-vector y la distribución de los seis genotipos de sorgo, en base a los dos primeros componentes principales.

En cuanto a la relación entre las variables se presentaron correlaciones fenotípicas positivas entre REN con DF y AP (Figura 8, Cuadro 8). También se observaron correlaciones positivas entre REN con IDA ($r=0.815^*$) y con EF ($r=0.815^*$). Este comportamiento corresponde a que el G6 (LES 267) de grano de color blanco y con bajo contenido de taninos, fue el único que presentó daños por el ataque de aves (IDA= 26.6%); siendo también el único que presentó daños ocasionados por una baja incidencia de roya (EF= 2). La variable REN se correlacionó negativamente con NPP ($r= -0.502$), donde los genotipos de mayor rendimiento G6 y G1, tuvieron una baja presencia de pulgones por planta (Figura 6).

Cuadro 8. Correlaciones fenotípicas entre las variables consideradas en el análisis de componentes principales.

Variables	DF ¹	AP	LE	LP	IDA	EF	GB	NPP
AP	0.627							
LE	-0.162	-0.406						
LP	-0.682	-0.883*	0.139					
IDA	0.339	0.864*	-0.617	-0.789*				
EF	0.339	0.864*	-0.617	-0.789*	1.000**			
GB	-0.056	-0.256	0.842*	0.085	-0.462	-0.462		
NPP	0.121	-0.628	0.448	0.313	-0.629	-0.629	0.448	
REN	0.738	0.927**	-0.528	-0.853*	0.815*	0.815*	-0.494	-0.502

¹DF= días a floración, AP= altura de planta, LE= longitud de excursión, LP= longitud de panícula, IDA= incidencia de daño por aves, EF= incidencia de enfermedades, GB= grados Brix, NPP= número de pulgones amarillos por planta, REN= rendimiento. * Significativo, ** Altamente significativo al nivel de probabilidad del 0.05 y 0.01.

Entre las variables GB y LE se presentó una correlación positiva y significativa ($r=0.842^*$) donde los genotipos G2, G5 y G4 que obtuvieron una mayor LE, presentaron los más altos valores de GB (Cuadro 6). Asimismo, se observó una correlación positiva entre GB y NPP ($r= 0.448$) esto debido a que los genotipos con mayor contenido de azúcares generalmente presentan una mayor infestación del pulgón amarillo (Perales, 2019). A su vez, se presentó una baja correlación positiva entre LE y LP ($r= 0.139$), sin embargo, Rodríguez *et al.* (2007) al evaluar dos grupos de sorgo grano, reportaron una correlación positiva y altamente significativa entre estas dos variables ($r=0.431^{**}$), esto es importante porque entre mayor sea la LE, los granos quedan fuera de la hoja bandera, reduciendo daños de plagas y enfermedades en la parte inferior de la panícula (Villeda, 2014).

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación se presentan las siguientes conclusiones:

- Los genotipos de sorgo G6 (LES-267), G1 (LES-285) y G2 (LES-86) presentaron altos rendimientos y tolerancia al ataque del pulgón amarillo.
- El genotipo G6 (LES-267) se puede utilizar, tanto en la producción de grano como de forraje.
- Los genotipos G6 (LES-267) y G4 (LES-118) registraron menor número de pulgones y mayor altura de planta, siendo este un mecanismo de defensa contra el ataque del pulgón del sorgo.
- Los genotipos G4 (LES-118) y G5 (LES-188) por su alto contenido de azúcares (grados Brix) tienen el potencial de ser utilizados en la producción de etanol.
- El primer componente principal determinó que la variable REN fue la de mayor importancia y en el segundo componente las de mayor importancia fueron GB y LE.
- La variable REN se correlacionó positivamente con DF y AP y negativamente con NPP. El contenido de grados Brix se relacionó positivamente con LE y NPP.

VI. LITERATURA CITADA

- Aprolegua. 2000. Mosquita del sorgo. Revista Aprolegua al día. www.aprolegualdia.8m.com/index2.htm
- Araujo, V.L.; Rodriguez, N.M.; Gonçalves, L.C. 2002. Teores de carbohidratos solúveis e ácidos orgânicos de silagens de três genótipos de sorgo colhidos em cinco diferentes momentos de colheita. *In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 39, Recife, PE. Anais.
- Arroyo, A., Balzarini M., Bruno C. y Di Rienzo J. 2005. Árboles de expansión mínimos: ayudas para una mejor interpretación de ordenaciones en bancos de germoplasma. *Interciencia*. 30: 550-554.
- Astigarraga, L., Bianco A., Mello R., Montedónico D. 2014. Comparison of Brown Midrib Sorghum with Conventional Sorghum Forage for Grazing Dairy Cows. *American Journal of Plant Sciences* (5), 955-962.
- Balzarini, M., Arroyo A., Bruno C. y Di Rienzo J. 2006. Análisis de datos de marcadores con Info-Gen. XXXV Congreso Argentino de Genética, San Luis. Argentina.
- Bautista MN, Morales GO. 2016. El gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*). Una plaga de importancia. Agrosíntesis. En línea: <http://agrosintesis.com/una-plaga-de-granimportancia/> Fecha de consulta: diciembre de 2020.
- Blackman RL and Easton VF, 1984. Aphids on the world's Crops. An Identification and Information Guide. Chichester, UK: John Wiley.
- Bowling, R. D., M. Brewer, D. L. Kerns, J. Gordy, N. Seiter, N. E. Elliott, G. D. Buntin, M. O. Way, T. A. Royer, S. Biles, and E. Maxson. 2016. Sugarcane aphid (Hemiptera: Aphididae): a new pest on sorghum in North America. *J. Integr. Pest. Manag.* 7: 1-13.

- Brewer, M. J., y Elliot. N.C. 2004. Biological control of cereal aphids and mediating effects of host plant and habitat manipulations. *Annu. Rev. Entomol.* 49:2019-242.
- CABI. 2014. Crops Protection Compendium. Data Sheet for: *Melanaphis sacchari* (Zehntner). Consultado en febrero de 2022 en: <http://www.cabi.org/isc/datashet/26757>.
- Capinera, J.L. 2014. Beet Armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) (Insecta: Lepidoptera: Noctuidae). Eeny-105.U.S. Department of Agriculture, UF/IFAS Extension Service, University of Florida. En línea: <http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/IN/IN26200>. Fecha de consulta: enero 2022.
- Carbajal, M., 2009. Análisis de demanda de sorgo grano. Universidad Autónoma del estado de México.
- Carrasco, N., Zamora, M. y Melin, A. 2011. Manual de sorgo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Argentina). 1ª ed.-Chacra Experimental Integrada Barrow. Ediciones INTA 2011. ISBN: 978-987-679-071-0.
- CESAVEG, 2004. Campaña de manejo fitosanitario del sorgo. CESAVEG-SAGARPA.
- Ciampitii, I.A. 2016. Como se desarrolla una planta de sorgo. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service.
- Chang, C.P., Fang, M.N., Tseng, H.Y., 1982. Studies on the life history and varietal resistance in grain sorghum aphid, *Melanaphis sacchari* Zehntner in central Taiwan. *Chin. J. Entomol.* 2, 70–81.

- Colares, F., J. P. Michaud, C. L. Bain, J. B. Torres. 2015. Recruitment of aphidophagous arthropods to sorghum plants infested with *Melanaphis sacchari* and *Schizaphis graminum* (Hemiptera: Aphididae). *Biological Control* 90: 16-24.
- Comastri, L. 2021. Factores determinantes para obtener un ensilaje de sorgo de alta calidad. Consultado en febrero 2022. Sitio web: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:1woH3UFtWFOJ:https://totalpec.com/blog/112/factores-determinantes-para-obtener-un-ensilaje-de-sorgo-de-alta-calidad+&cd=18&hl=es-419&ct=clnk&gl=mx>
- Compton L.P, 1990. Agronomía del sorgo. Programa de Mejoramiento de Sorgo para América Latina (LASIP) con base en el CIMMYT. México. p 54.
- Condo, L.A. y J.M. Pazmiño. 2015. Diseño experimental en el desarrollo del conocimiento de las ciencias agropecuarias. Aval ESPOCH, Riobamba, Ecuador. P. 21.
- Coto, D.; Saunders, J.L. 2004. Insectos plagas de los cultivos perennes con énfasis en frutales en América Central. Turrialba. Serie Técnica. Manual técnico/CATIE; n°52. 420p.
- Delhey R. 2017. Enfermedades de *Sorghum bicolor* (L.) Moench sub sp. *bicolor* (sorgos). En: Atlas Fitopatológico Argentino. Vol. 4, N° 4. Editores: Nome S.F., Docampo D.M., Conci L.R. Córdoba, Argentina. <http://rian.inta.gov.ar/atlas/#/ConsultaGeneral?Id=2608>.
- DGIAAP-SENASICA. 2013. Lista de Plaguicidas de uso agrícola autorizados. Consultado en línea, diciembre 2021. Link de consulta: <http://www.senasica.gob.mx/?id=4099>
- Díaz C.G., Aguirre N. y J.C. Morales. 2009. Enfermedades foliares en diferentes materiales de sorgo. MAIZAR. 4 p. <http://www.maizar.org.ar/vertext.php?id=329>

- 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: 200-210. doi:10.1007/s12355-013-0262-5
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2017. FAOSTAT. Prod Stat data base, yearly production. Consultado diciembre 2021. Disponible en <http://www.faostat.fao.org>
- Financiera Rural. 2011. Monografía del sorgo grano. <http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorial/documents/monografias/monografiasorg>.
- FIRA. (2019). Panorama Agroalimentario. Consultado en febrero 2022. Sitio web:[https://www.inforural.com.mx/wp-content/uploads/2019/06/Panorama Agroalimentario-Sorgo-2019.pdf](https://www.inforural.com.mx/wp-content/uploads/2019/06/Panorama-Agroalimentario-Sorgo-2019.pdf)
- FIRA. 2016. Panorama agroalimentario. Sorgo 2016. Dirección de investigación y evaluación económica y sectorial. 35p.
- Flores-Naveda, A., Valdés-Lozano C.G.S., Zavala-García F., Olivares-Sáenz E., Gutiérrez-Díez A., y Vázquez-Badillo M.E. 2013. Comportamiento agronómico de líneas para la producción de semilla de sorgo. Agronomía Mesoamericana 24:111-118.
- Franco, H. 2020. Evaluación del Comportamiento Agronómico de líneas experimentales de sorgo en la comarca lagunera. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila. 70 p.
- Gamundi, J.C. y Molinari, A. 2008. Trips en cultivos de maíz y sorgo. - Editor/es: INTA. - Centro Regional Santa Fe - Estación Experimental Agropecuaria Oliveros - INTA. - Página/s: 4.
- Google Earth, (2021). Consultado en enero 2022 disponible en: <https://earth.google.com/web/@25.35918016,101.03848076,1732.22164898a,943.89095334d,35y,-58.79179349h,45.00000118t,-0r/data=KAE>

- Gómez –Souza, J; Díaz, J. 1999. Aspectos biológicos de *Melanaphis sacchari* (Zehnt.) (Homoptera, Aphididae). Centro Agrícola, Año 26, No. 3.
- Gómez, G. 2012. Presencia de taninos en cultivos de forraje verde hidropónico producido a partir de sorgo. Monografía de Licenciatura. UAAAN. Torreón, Coahuila. 52 p.
- Gorakhanath CR (2015) Management of Rust (*Puccinia puepure* Cooke) of Sorghum.M.ScThesis, MPKV, UNIVERSITY LIBRARY RAHURI. 80 p.
- Heike, V. 2009. Malezas de México. Poace *Sorghum bicolor* (L.) Moench. CONABIO. Fecha de consulta: de diciembre de 2021. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/sorghumbicolor/fichas/ficha.htm>.
- Hernández-Martínez, M., Pecina-Quintero, V., Corredor, C. 2015. Situación actual del cultivo de sorgo en Guanajuato. Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria. Consultado en: <http://www.cesaveg.org.mx/new/ReunionPAS/sorgo-problematicaresistencia-pulgon.pdf>. Fecha de consulta: diciembre de 2021.
- House, L. R. 1985. A guide to sorghum breeding. 2nd edition. Patancheru, A.P. 502324, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.
- INTA (Instituto nacional de tecnología agropecuaria). 2011. Manual de sorgo. Ministerio de asuntos agrarios buenos aires la provincia. 112p.
- INTAGRI S.C, 2014. La Situación Actual del Pulgón Amarillo del Sorgo en México Extraído de: <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/la-situacion-actual-del-pulgon-amarillo-del-sorgo-en-mexico>

- Jabereldar, A.A., El Naim A.M., Abdalla A.A., and Dagash Y.M. 2017. Efecto del estrés hídrico sobre el rendimiento y la eficiencia en el uso del agua del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) en ambiente semiárido. Revista Internacional de Agricultura y Silvicultura 7: 1-6. doi: 10.5923/j.ijaf.20170701.01.
- Jaimes, J. 2019. Evaluación de líneas de sorgo resistentes por su respuesta al ataque del pulgón amarillo (*Melanaphis sacchari* Zehntner). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, N. L. 77 p.
- Jaramillo, M.E. 2012. Taninos condensados en sorgo: significancia toxicológica. XXII Congreso Centroamericano y del Caribe de Avicultura, en Panamá. <https://www.elsitioavicola.com/articles/2241/taninos-condensados-en-sorgo-significancia-toxicologica/>.
- Johnson, E.D. 2000. Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos. Internacional Thompson Editores S.A de C. V. New York, U.S.A. Pp. 3–4.
- Khan, M.A.U., A.A. Shahid, A.Q. Rao, K.S. Bajwa, T.R. Samiullah, A. Muzaffar et al. 2015. Molecular and biochemical characterization of cotton epicuticular wax in defense against cotton leaf curl disease. Iranian J. Biotechnol. 13(4): e1234.
- Liu, F., X. Xiong, L. Wu, D. Fu, A. Hayward, X. Zeng et al. 2014. *BraLTP1*, a lipid transfer protein gene involved in epicuticular wax deposition, cell proliferation and flower development in *Brassica napus*. PLoS One 9(10): e110272. doi:10.1371/journal.pone.0110272.
- López M. and Fernández M, 1999. Biology of *Melanaphis sacchari* (Z) in sugarcane II-lifecycle, survival curve and populations parameters (biología de *Melanaphis sacchari* (Z) encaña de azúcar II-ciclo de vida, curva de supervivencia y parámetros poblacionales). Revista de Protección Vegetal, 14(3):155-159.

- Maya, V., y Rodríguez-del-Bosque, L. A. 2014. Pulgón amarillo: Una nueva plaga del sorgo en Tamaulipas. INIFAP, Campo Experimental Río Bravo. Río Bravo, Tamps., México. Fecha de consulta: de febrero de 2022. Disponible en: <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/983.pdf>
- Minitab, Inc. 2009. Minitab-Statistical Software, Versión 16 para Windows, State College, Pennsylvania. Minitab® es una marca comercial registrada de Minitab, Inc.
- Molina, G. J. N.; García, S. J. A.; Chalita, T. L. E. y Pérez, S. F. 2012. Efecto de PROCAMPO sobre la producción y las importaciones de granos forrajeros en México. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 3(5):999-1010.
- Murray, F., Gallego, J. J., Miñón, D. P. & Barbarossa, R. A. 2010. Verdeos de verano para pastoreo o henificado: una alternativa forrajera de rápido crecimiento. Disponible: <http://www.inta.gov.ar/valleinferior/info/r63/verdeos%20de%20verano.pdf>.
- Museo Nacional de Historia de Francia [Ed]. 2003-2017. Inventaire National du Patrimoine Naturel. Fecha de consulta: febrero de 2022. Disponible en: https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/638617/tab/taxo.
- Natwick, ET., Stapleton JJ, Stoddard CS. 2012. Cucurbits. Armyworms. How to Manage Pests. UC Pest Management Guidelines. En línea: <http://ipm.ucanr.edu/PMG/r116301311.html> Fecha de consulta: enero 2022.
- Panizzi R.C., Fernandes N.G. e M. Camargo 2005. Doenças do sorgo (*Sorghum bicolor*). En: Kimati H., Amorin L., Rezende J.A.M., Bergamin Filho A. y L.E.A. Camargo (Eds.). Manual de Fitopatologia. Vol. 2: doenças das plantas cultivadas. Editora Agronômica Ceres Ltda. São Paulo. Cap. 66. p. 597-606.

- Pecina, V., R. Bújano, C.A. Núñez, J.Á. Quijano, N. Montes, A. Pecina, y T.O. Martínez. 2021. Tolerancia de Híbridos de Sorgo al Pulgón Amarillo, *Melanaphis sacchari* (Zehntner), en México. *Southwestern Entomologist*. 45: 937-948, (consultado: febrero de 2022).
- Peña-Martínez, R., A. L. Muñoz-Viveros, R. Bujanos-Muñiz, J. Luévano-Borroel, F. Tamayo-Mejía, E. Cortez-Moncada. 2016. Formas sexuales del complejo pulgón amarillo del sorgo, *Melanaphis sacchari sorghi* en México. *Southwestern Entomologist* 41 (1): 127-131.
- Perales, D. 2019. Caracterización del pulgón amarillo del sorgo (*Melanaphis sacchari sorghi*) Zehntner, en el cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench, en el estado de Morelos. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 79 p.
- Quinby, J. R. 1974. Sorghum improvement and the genetics of growth. Texas A&M University. Press. College Station, Texas.
- Rebollar, R. S., Hernández, M.J., González, R. F. J., García, M. A. 2016. Efecto de una política de importaciones sobre el mercado del sorgo (*Sorghum vulgare Pers*) en México. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 38: 229-240. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14146082004>.
- Reyes-Rosas, M. A., J. Loera-Gallardo, J. I. López-Arroyo 2012. Comparación de control natural y químico del psílido asiático de los cítricos *Diaphorinacitri*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4 (4): 495-501.
- Rodríguez, C., Arredondo I. y Martínez L. 2007. Variedades de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para una agricultura de bajos insumos. II. Determinación de criterios de selección. *Centro Agrícola*, 34: 25-30.
- Rodríguez-Palomera, M., J. Cambero-Campos, G. Luna- Ezquivel, O. Estrada-Virgen, N. De Dios Á., C. Cambero A. 2016. Coccinélidos depredadores del pulgón amarillo del sorgo *Melanaphis sacchari* (Zehntner) (Hemiptera: Aphididae) en Nayarit, México. *Entomología Agrícola* 3: 361-364.

- Royer, T. A. 2014. Two “sugarcane” aphidsthat are infesting sorghum in Oklahoma. Pest e-alerts 13 (21): 1-6.
- Ruz-Reyes, R., Escalona-Peña A. y Romero-Arias A. 2018. Evaluación de tres cultivares de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] para la alimentación animal. Pastos y Forrajes. 41: 93-96.
- Saucedo, O.M. 2008. Empleo del sorgo en la alimentación animal y humana. Taller Nacional sobre empleo del sorgo. Universidad Central de Las Villas. Villa Clara, Cuba.
- SDAYR (Secretaría de Desarrollo Agroalimentario y Rural). 2016. Guía para el manejo del pulgón amarillo del sorgo. Gobierno del Estado de Guanajuato-SDAYR. Celaya, Guanajuato. 19 p.
- SENASICA, 2015. Programa de Trabajo de la Campaña Contra el Pulgón Amarillo. Programa de Sanidad e Inocuidad Agroalimentaria 2015. Nayarit. Oficio 03553. D.F. México. 8 p.
- SIAP. 2014. Anuarios de producción agrícola 2012. Servicio d Información Agroalimentaria y Pesquera. Consultada en línea en enero 2022: <http://siap.sagarpa.gob.mx>
- SIAP (Servicio de información Agroalimentaria y Pesca) 2020. Avance de siembras y cosechas resumen nacional por cultivo. Consultado febrero, 2022. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do;jsessionid=1994827B9204CBBC89D2904A5B22502D
- SIAP. 2020. Avance de siembras y cosechas resumen nacional por cultivo. Consultado febrero, 2022. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do

- Silva LR, Pereira Martins Teixeira M, Costa Carvalho DD .2016. Ocurrencia e caracterizacao de *Puccinia puepurea* Cooke em sorgo no estado de Goiás, Brsil. Revista Agri Tcenologia 7(2): 13-17.doi: 10.12971/agrotec.v7i2.4932.
- Silva-Martínez, C., Nava-Camberos U., Cano-Ríos P., Reyes-Carrillo J.L., Avila-Rodríguez V. y García-Hernández J.L. 2019. Programa de muestreo para el pulgón amarillo del sorgo, *Melanaphis sacchari* (Zehntner). Ecosist. Recur. Agropec. 6: 565-571. DOI: 10.19136/era.a6n18.2048.
- Singh, B.U; Padmaj, P.G.; Seetharama, N. 2004. Biology and management of the sugarcane aphid, *Melanaphis sacchari* (Zehntner) (Homoptera: Aphididae). In sorghum: a review .CropProtection, 23: 739-755.
- USDA-FAS. GAIN Report. México: grain and feed annual. 3/12/2019.
- Velazquez P.D. y Formento Á.N. 2014. Ergot o enfermedad azucarada del sorgo en Entre Ríos. Ciclo agrícola 2013/14. 9 p. <https://inta.gob.ar/documentos/ergot-o-enfermedad-azucarada-del-sorgo-en-entre-rios.-ciclo-agricola-2013-14> [Verificación: febrero de 2022].
- Villeda, D.A. 2014. Caracterización morfoagronómica de 15 accesiones de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) con bajo contenido de lignina. Tesis de Maestría. Universidad del Salvador. San Salvador. 105 p.
- Voegtlin, D.; Villalobos, W.; Sánchez, M.; Saborió, G. y rivera, C. 2003. Áfidos alados de Costa Rica. Revista de Biología Trópical, Vol. 51. Supl 2. Mayo, 2003. UCR, San José, Costa Rica. 225 pag.
- Williams-Alanís, H., Aranda-Lara U., Arcos-Cavazos G., Zavala-García F., Rodríguez-Vázquez Ma. C. y Olivares-Sáenz E. 2021. Potencial productivo de variedades experimentales de sorgo blanco para el sur de Tamaulipas. Nova Scientia. 13n. <https://doi.org/10.21640/ns.v13i26.2688>

Wu, J. and I.T. Baldwin. 2009. Herbivory-induced signaling in plants: perception and action. *Plant Cell Environ.* 32 (9):1161-1174.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19183291>