

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Evaluación del Comportamiento Agronómico en Genotipos de Sorgo
de Testa Pigmentada en el Sureste de Coahuila

Por:

GANDHY MOISÉS CASTRO CASTAÑÓN

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México.

Marzo, 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Evaluación del Comportamiento Agronómico en Genotipos de Sorgo
de Testa Pigmentada en el Sureste de Coahuila

Por:

GANDHY MOISÉS CASTRO CASTAÑÓN

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

Dr. Josué Israel García López

Coasesor

Dr. Perpetuo Álvarez Vázquez

Coasesor

Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.

Marzo, 2024

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 (cort 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



Gandhy Moisés Castro Castañón

DEDICATORIA

A DIOS

A Jehová mi Dios por brindarme el regalo de la vida, guiarme de su mano y darme la sabiduría y el juicio que me permitieron conseguir este logro.

A MI MADRE

Marlén Castañón Simón, la persona que me ama incondicionalmente desde el primer momento, quien nunca dudó ni un segundo en sacrificar todo por mí y mis hermanos, por siempre tener fe y esperar cosas grandes de mí. Gracias mamá por hacerme la persona que soy hoy, pues no lo habría podido lograr sin ti.

A MIS ABUELOS

A Ramón Castañón Rendón y Aminada Simón Valle, que siempre han sido mis segundos padres, por quererme tanto, apoyarme e inculcarme cosas buenas que llevaré conmigo toda la vida, por siempre esperar mi regreso con tantas ansias. Gracias por formar el hombre que soy hoy.

A MI NOVIA

El amor de mi vida, Belén Galeana, por ser mi motor, mi pilar, mi motivo para seguir adelante, por nunca dudar de mí y sacar mi mejor versión. Por ti estoy aquí y por ti seguiré trabajando, muchas gracias por tanto durante los que ahora son cinco años, se logró princesa.

A MIS HERMANOS

A Gilberto por su ayuda y por impulsarme a actuar como un mejor modelo de hermano, y a Gregorio por su inmenso apoyo desde el primer momento y por haber traído a mi Alma Terra Mater a mi vida.

A MIS AMIGOS

A Saulo Cortez, Omar Bacilio, Martín Camacho y Jasher Riquelme por todas las risas, experiencias y el apoyo incondicional que me brindaron a lo largo de esta aventura.

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Terra Mater, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por brindarme todas las herramientas necesarias para mi crecimiento profesional y por permitirme ser parte de esta hermosa comunidad que es ser un Buitre.

A Inés Barrientos Loeza, por servir de guía y compartir sus años de conocimiento conmigo e impulsar mis ganas de aprender.

A la Ing. Selene Yañez, por su ayuda y paciencia a lo largo de toda mi estadía en la universidad, por su guía, consejos y todo el apoyo que me brindó.

A mi asesor de tesis el Dr. Antonio Flores Naveda por su confianza y su apoyo en el desarrollo de este proyecto, por compartir su conocimiento y actuar como un amigo.

Al Dr. Armando Muñoz Urbina por su gran apoyo y disposición prestados en la elaboración del proyecto.

Al Dr. Josué Israel García López y al Dr. Perpetuo Álvarez Vázquez por permitirme la oportunidad de llevar a cabo este proyecto de investigación de tesis.

A Lorenzo Villa Sandoval, un hombre trabajador que cumplió una parte muy importante en el desarrollo de este proyecto, sin duda alguna su apoyo y consejos permitieron desarrollar satisfactoriamente esta investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS	v
INDICE DE CUADROS	viii
INDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1 Objetivo general	2
1.1.2 Objetivos específicos	2
1.2 Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Origen e importancia del sorgo	4
2.2 Clasificación taxonómica y morfología	5
2.3 Etapas de crecimiento y desarrollo	8
2.4 Producción mundial del sorgo.....	9
2.4.1 Producción por países	10
2.5 Producción de sorgo en México	11
2.4 Principales plagas del cultivo	12
2.4.1 Gusano cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i> Smith)	13
2.4.2 Mosquita del sorgo (<i>Contarinia sorghicola</i>)	13
2.4.3 Pulgón amarillo del sorgo (<i>Melanaphis sacchari</i>)	15
2.5 Principales enfermedades del cultivo.....	17
2.5.1 Roya	17

2.5.2	Mildiu	18
2.5.3	Antracnosis.....	20
2.6	Contenido nutricional del sorgo de grano.....	20
2.7	Sorgo para consumo humano.....	21
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
3.1	Localización del sitio experimental	23
3.2	Germoplasma utilizado	24
3.3	Manejo agronómico del cultivo	25
3.3.1	Preparación del terreno.....	25
3.3.2	Siembra.....	25
3.3.3	Desmezcle	25
3.3.4	Fertilización.....	25
3.3.5	Control de malezas	26
3.3.7	Cosecha.....	26
3.3.8	Trilla	26
3.4	Variables evaluadas	27
3.4.1	Altura de planta (AP)	27
3.4.2	Longitud de la panícula (LP)	27
3.4.3	Longitud de la excursión (LE)	27
3.4.4	Días de floración (DF)	27
3.4.5	Rendimiento de grano por planta (RTO).....	27
3.4.6	Peso de 1000 semillas (PMS).....	28
3.5	Análisis estadístico.....	28
V.	CONCLUSIONES	34
VI.	LITERATURA CITADA.....	35

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del cultivo del sorgo.....	7
Cuadro 2. Etapas de desarrollo de la planta de sorgo.	8
Cuadro 3. Características de las etapas de crecimiento.	8
Cuadro 4. Composición nutricional del sorgo por 100 g de porción comestible y 12% de humedad.	21
Cuadro 5. Características del ensayo y diseño experimental.....	23
Cuadro 6. Líneas experimentales de sorgo (LES) evaluadas en el Campo experimental de la UAAAN ciclo P- V. 2022.....	24
Cuadro 7. Cuadrados medios del análisis de varianza y coeficientes de variación de las variables agronómicas en genotipos de sorgo durante el ciclo P-V. 2022.	31
Cuadro 8. Comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) de 15 líneas experimentales de sorgo evaluadas en el campo experimental de la UAAAN, durante el ciclo P-V. 2022.....	32
Cuadro 9. Coeficiente de correlación fenotípica entre rendimiento y variables agronómicas.....	33

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes de la planta de sorgo.	6
Figura 2. Principales países productores de sorgo en 2023.	10
Figura 3. Producción de sorgo en México.	12
Figura 4. Especimen adulto de <i>Melanaphis sacchari</i>	15
Figura 5. Larva de crisopa alimentándose de un pulgón.	16
Figura 6. Roya. A. Ataque en hojas y tallo. B. Uredinios en hoja. C. Urediniosporas de <i>Puccinia purpurea</i>	17
Figura 7. Mildiu sistémico en etapa avanzada. A. Hojas erectas con abarquillado y bandas cloróticas. B-C. Oosporas de <i>Peronosclerospora sorghi</i> sobre tejido necrótico. D. Laciniado de hojas.	19
Figura 8. Mildiu localizado. A. Bandas con eflorescencia en el envés. B. Conidióforos y conidios de <i>P. sorghi</i> . C. Bandas paralelas. D. Áreas necróticas confluentes.	19
Figura 9. Galletas elaboradas a base 100% de sorgo.	22
Figura 10. Variación en el color de grano de las líneas experimentales de sorgo.	30

RESUMEN

El sorgo es uno de los principales cereales a nivel mundial, por superficie sembrada y cosechada, además por sus mecanismos de tolerancia a calor y sequía, por lo tanto, es importante su evaluación en diversos ambientes. El objetivo de la investigación fue seleccionar genotipos de sorgo de testa pigmentada por parámetros agronómicos y rendimiento de grano por planta. Los genotipos se establecieron en el ciclo agrícola primavera-verano, 2022 en el Campo Experimental Buenavista de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), bajo un diseño de bloques completos al azar, con dos repeticiones, además se realizó la prueba de medias de Tukey ($p \leq 0.05$), y un análisis de correlación fenotípica entre las variables utilizando el paquete estadístico Minitab v. 16. El material genético estuvo constituido por 15 genotipos de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas del Departamento de Fitomejoramiento de la UAAAN. Las variables que se evaluaron en el experimento fueron rendimiento del grano (RTO), días a floración (DF), longitud de panícula (LP), longitud de excursión (LE), el peso de mil semillas (PMS) y la altura de planta (AP). Con respecto a las variables cualitativas se determinó el color de la testa del grano. El análisis de varianza de bloques completos al azar detectó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) y altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre genotipos para las variables agronómicas evaluadas. El rendimiento de los genotipos 4 (100.9 g pl⁻¹), 10 (62.7 g pl⁻¹) y 3 (58.9 g pl⁻¹) demostraron ser sobresalientes con respecto al resto de genotipos evaluados según la prueba de comparación de medias (Tukey ≤ 0.05), por lo que sumado a sus buenas características en el resto de variables agronómicas se les considera aceptables para producción de grano en la región sureste de Coahuila. Asimismo, el color del grano de sorgo como un descriptor cualitativo, está asociado a la calidad nutricional.

Palabras clave: Sorgo, testa pigmentada, diversidad genética, variables agronómicas.

I. INTRODUCCIÓN

El sorgo es una planta originaria de región actualmente ocupada por Etiopía y Sudán, de la familia de las gramíneas, con cañas de 1.5 m de altura, con tejido blanco y dulce, flores en panícula floja con semillas que miden alrededor de 3 mm esféricas y oblongas. El sorgo es un cultivo de gran versatilidad de uso, pues se adapta muy bien a climas cálidos, semiáridos e incluso áridos, además de ser capaz de soportar sequías durante periodos prolongados y continuar su desarrollo en cuanto las condiciones de humedad se vuelvan favorables. Tiene buen desarrollo en suelos alcalinos, principalmente las variedades azucaradas, ya que la presencia de carbonato de calcio aumenta su contenido de sacarosa en tallos y hojas (SAGARPA, 2017).

El grano de sorgo pigmentado es una rica fuente de antioxidantes como lo son los compuestos polifenólicos, principalmente las antocianinas y taninos. Algunos de estos compuestos desempeñan funciones beneficiosas para el cultivo, actuando como protección biológica contra el ataque de predadores herbívoros, hongos fitopatógenos e incluso hierbas parasitarias, lo que permite disminuir el uso de agroquímicos en el manejo del cultivo. Tal es la eficiencia estos compuestos, que se demostró que el uso de extractos de compuestos polifenólicos de sorgo pigmentado presenta un porcentaje de inhibición del 98 al 100% para hongos de importancia económica como lo son *Alternaria spp.* y *Botrytis spp.* (González, 2023). Además, (Rodríguez, 2023) demostró propiedades insecticidas en estos mismos extractos, obteniendo una baja en la presencia de pulgón amarillo (*Melanaphis sacchari*) durante el manejo del cultivo de sorgo.

Por estas y muchas otras cualidades, el sorgo es un cultivo mundialmente trascendente, considerado como el quinto cultivo más importante solo después del trigo, arroz, maíz y cebada. Constituye un alimento básico en regiones de Asia, África y otras zonas donde sustituye cereales como el trigo y el maíz en la alimentación

humana además de ser uno de los principales cultivos utilizados como forraje o grano para alimentación animal (Shen *et al.*, 2018).

En 2016, México fue el cuarto productor de sorgo a nivel mundial con una producción aproximada de cinco millones de toneladas, cubriendo un 60% de los requerimientos nacionales, con una importación de 645,946 toneladas procedentes de Estados Unidos (SAGARPA, 2017).

Según autores, para el año 2050 habrá una gran necesidad de granos de 450 mil toneladas anuales, lo que representa un déficit de 220 kg por hectárea, por lo que es necesario planear y elaborar estrategias que permitan obtener producciones con altos rendimientos (Pérez *et al.*, 2010).

Bajo este contexto y la inevitable necesidad de producción alimentaria, el siguiente proyecto de investigación busca mejorar genéticamente el grano de sorgo mediante selección tradicional por parámetros agronómicos en planta, esto de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas del sureste de Coahuila. A continuación, se presentan los objetivos planteados para cumplir con la investigación.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Seleccionar genotipos de sorgo de testa pigmentada, mediante su comportamiento agronómico y rendimiento de grano en el sureste de Coahuila.

1.1.2 Objetivos específicos

Determinar el rendimiento del grano, días a floración, longitud de panícula, longitud de excursión, el peso de mil semillas y la altura de planta en líneas experimentales de sorgo.

1.2 Hipótesis

Hi: Existen diferencias entre genotipos de sorgo de testa pigmentada en el comportamiento agronómico y rendimiento de grano, lo cual permitirá seleccionar genotipos sobresalientes.

Ho: No existen diferencias, entre los genotipos de sorgo de testa pigmentada en el comportamiento agronómico y rendimiento de grano.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen e importancia del sorgo

Con un origen muy discutido a lo largo de los años, se plantea que este cultivo procede del noreste del continente africano, en la actual región ocupada por Etiopía y Sudán, cultivado desde hace más de 5,000 años y siendo introducido en América en el siglo XVIII por tratantes de esclavos o posiblemente por navegantes que comercializaban entre América y Europa, quienes cultivaron diferentes especies de forma esporádica en países de América y dando como uno de los resultados el sorgo que conocemos a día de hoy (SENA, 1990; Pérez, 2010).

El sorgo es un cultivo de gran importancia a escala mundial, pues es considerado el quinto cultivo más importante solo después del trigo, arroz, maíz y la cebada, siendo usado como un alimento básico en regiones de Asia, África y otras zonas, por lo que está comprobado que puede sustituir cereales como el trigo y el maíz en la alimentación humana y no solo en la producción de forraje o grano para alimentación animal como lo es en gran parte del mundo (Shen *et al.*, 2018). Sin embargo, esta demanda para la alimentación animal constituyó una causa muy importante para aumentar la producción mundial y su comercialización desde los años sesenta. En cuanto a producción, los países que destacan en el cultivo del sorgo son Estados Unidos, con una producción de 11.9 millones de toneladas (Mt) de este grano, seguido por India, con 9.5 Mt; Nigeria, con 7.5 Mt; y por último México, con 6.5 Mt (Pérez *et al.*, 2010).

Hoy en día el sorgo es un cultivo muy prometedor, ha ganado popularidad y generado gran importancia en la agronomía gracias a su resistencia a enfermedades, inundaciones y gran potencial productivo bajo prácticas de producción adecuadas,

este incluso es preferido sobre el maíz en regiones semidesérticas por su mejor adaptabilidad a altas temperaturas, poca precipitación y suelos poco productivos (Serna, 2016).

2.2 Clasificación taxonómica y morfología

Su nombre científico es *Sorghum bicolor* Moench y pertenece a la familia Poaceae (anteriormente llamadas gramíneas), con un ciclo de cultivo que varía los 90 y 120 días.

Es una monocotiledónea que forma parte de los cereales, tiene un aspecto muy similar al maíz a excepción por la flor, y que el sorgo tiene una mayor tendencia a producir macollos. Es una planta autógena, pero mantiene un cierto porcentaje de polinización cruzada, circunstancia que vuelve necesario el aislamiento de campo para conservar la pureza varietal.

Aun cuando se han realizado diversas clasificaciones del género *Sorghum*, todas las variedades usadas como cultivo (tanto forrajeras como de grano) pertenecen a las especies *Sorghum bicolor* (L) Moench., (coincidente con *S. vulgare* Pers) y *S. sudanense* (Piper) Stapf.

La clasificación que interesa al agricultor es esta:

- a) Sorgos para grano, como Milo, Hegari, Kafir, Durra, Feterita, Kaoliang, Shallu y los híbridos derivados de estos.
- b) Sorgo para usos especiales, como los sorgos escoberos.
- c) Sorgos de tallo jugoso y azucarado.
- d) Sorgos usados para pasto, como la cañota y el pasto de Sudán.

Los más importantes son los denominados sorgos para grano (pertenecientes al grupo a) y sorgos para forraje (pertenecientes a los grupos c, d y los híbridos obtenidos a partir de estos) (García, 1982).

Conocer las etapas fenológicas del cultivo es importante para el manejo de este, pues vuelve posible el reconocimiento de las etapas clave en su desarrollo permitiendo tomar decisiones que llegan a ser críticas. Estas etapas se basan en el desarrollo de las estructuras de la planta a lo largo de su vida, las cuales se describen a continuación.

Porte: la planta alcanza alturas de 1 a 2 m, aunque depende del genotipo.

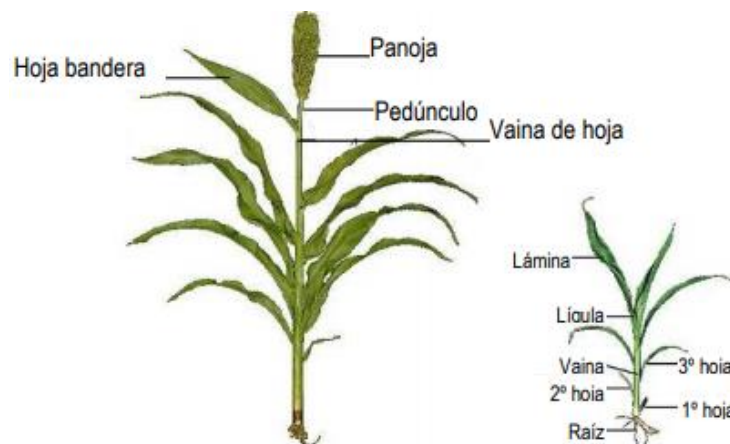
Sistema radicular: puede tener raíces adventicias, laterales y/o aéreas. Puede alcanzar profundidades de 2 m.

Tallo: es compacto, en ocasiones esponjoso, con engrosamiento en los nudos. Según la variedad pueden originar macollos a partir de las yemas axilares o secundarias del meristemo basal del eje principal, con maduración más tardía.

Hojas: alternas, opuestas, forma lineal lanceolada, desarrollan entre 7 y 24 hojas según la variedad. El borde presenta bordes dentados curvos, además de una gran cantidad de células motoras cerca de la nervadura central en el haz.

Inflorescencias: panojas compactas, semicompactas o semilaxas, con espiguillas que nacen a pares siendo una estéril y una fértil. Las flores son hermafroditas y el polen pierde la viabilidad rápidamente.

Semilla: esféricas y oblongas de 3 a 5 mm, que pueden ir de colores desde negro, rojizo, amarillento, bronceado, crema, blanco, entre otros. (SENA, 1990).



Fuente: Vanderlip (1993).

Figura 1. Partes de la planta de sorgo.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del cultivo del sorgo.

Familia	Poaceae
Tribu	Andropogoneae
Subtribu	Sorghinae
Genero	<i>Sorghum</i> Moench
Subgénero	<i>Sorghum</i> <i>Chaetosorghum</i> <i>Heterosorghum</i> <i>Parasorghum</i> <i>Stiposorghum</i>
Especie del subgénero	<i>Sorghum</i> <i>Sorghumpropinquum</i> <i>Sorghum halepense</i> <i>Sorghum bicolor</i>
Subespecies de sp. s. bicolor	<i>Sorghum bicolor bicolor</i> <i>Sorghum bicolor drummondii</i> <i>Sorghum bicolor verticilliflorum</i>
Razas de subsp. s. bicolor bicolor	Bicolor Guinea Durra Kafir Caudatum

Fuente: Kimber (2013).

2.3 Etapas de crecimiento y desarrollo

La planta de sorgo comprende diversas etapas fenológicas desde la germinación de la semilla, hasta la etapa de madurez fisiológica final del grano.

Cuadro 2. Etapas de desarrollo de la planta de sorgo.

Etapa	Duración (días)
Siembra a germinación	5
Germinación a floración	55 a 60
Floración a grano lechoso	15 a 20
Grano lechoso a grano seco	15 a 20
Grano seco a madurez fisiológica	15

Fuente: (SENA, 1990).

Cuadro 3. Características de las etapas de crecimiento.

Etapa de crecimiento	Días post-emergencia	Características principales
0	0	Emergencia: Se puede observar el coleóptilo en la superficie del suelo.
1	10	Etapa de tres hojas.
2	20	Etapa de cinco hojas.
3	30	Diferenciación del ápice de crecimiento.
4	40	Hoja bandera: la hoja final es visible.
5	50	Estado de bota: la panoja se encuentra extendida dentro de la vaina formada por la hoja bandera.
6	60	Floración al 50%
7	70	Grano pastoso.
8	85	Grano duro.
9	95	Madurez fisiológica: aparición de una capa negra en la parte inferior del grano.

Fuente: (SENA, 1990).

2.4 Producción mundial del sorgo

El sorgo, un alimento básico en la alimentación para el sector más pobre de la población mundial, está genéticamente bien adaptado a un entorno agroecológico cálido y expuesto a constantes sequías con donde la mayoría de otros cultivos no pueden prosperar. Es en estas zonas donde el sorgo adquiere un valor especial para los agricultores, pues no solo el grano es utilizable, sino que la paja llega a representar hasta el 50% del valor total de la cosecha, especialmente en los años de fuerte sequía, que son bastante frecuentes (FAO, 1997).

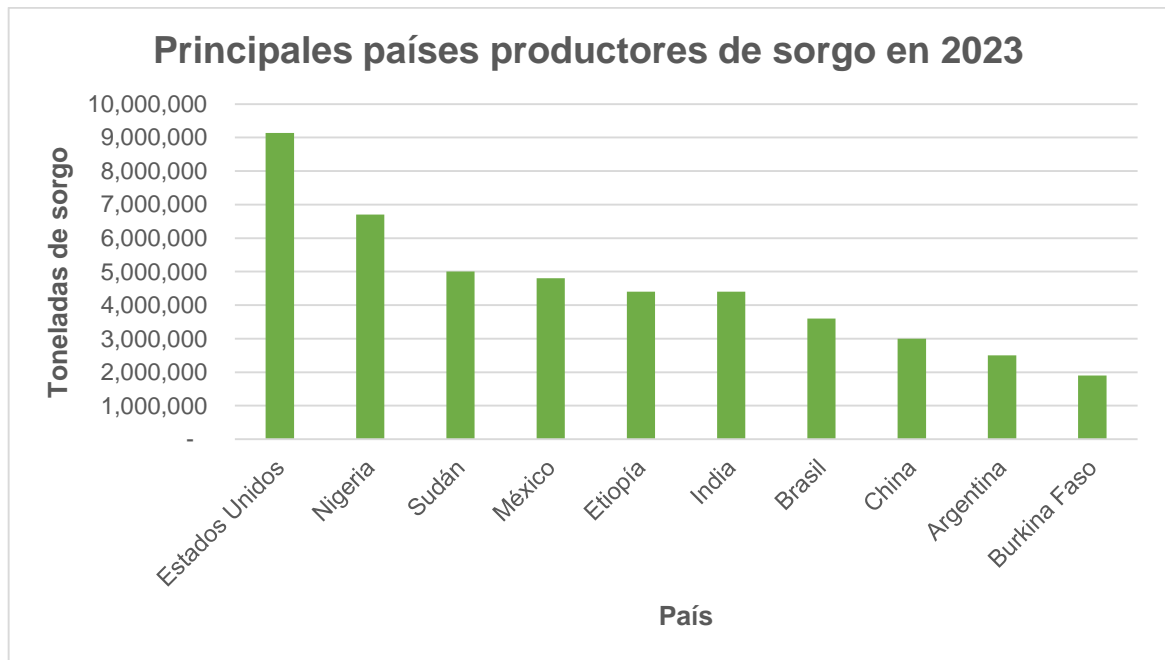
La mayor parte del cultivo es desarrollada por explotaciones agrícolas pequeñas de familias como medio de subsistencia, en África predomina el cultivo extensivo de productividad baja y un mínimo uso de insumos, esto último marca la diferencia con Asia, pues ahí se cuenta con una producción mucho más intensiva y un amplio uso de fertilizantes y semillas mejoradas, aunque, a diferencia de países desarrollados, en ambos continentes el sorgo se destina principalmente para consumo humano. Podemos agrupar los sistemas de producción de sorgo en dos categorías:

- Grupo I: El sorgo es utilizado como alimento, generalmente se usan sistemas de cultivo tradicionales y los rendimientos no superan 1 ton/ha, además de que varían mucho a través de los años.
- Grupo II: Producen sorgo con fines comerciales y la mayoría está destinado al consumo animal. Aplican sistemas de producción más actualizados, lo que se traduce en rendimientos de arriba de 5 ton/ha (FAO, 1997).

Para el ciclo 2023/2024, el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) estimó que la producción mundial de sorgo sería de 61.01 millones de toneladas, mientras que la producción del año pasado se estimó en 54.87 millones de toneladas, lo que representa un aumento de 6.15 toneladas, es decir, un incremento del 11.20% en la producción alrededor del mundo.

2.4.1 Producción por países

Según el Servicio de Agricultura Extranjera perteneciente al Departamento de Agricultura de Estados Unidos, para el 2023 se produjeron 60,01 millones de toneladas de sorgo en el mundo, con Estados Unidos alzándose como el principal productor de este cultivo obteniendo 8,071 millones de toneladas, lo que representa el 13% del total de la producción mundial, mientras que el segundo lugar lo obtuvo Nigeria aportando el 11% con 6,700 millones de toneladas y Sudán sería el tercer mayor productor con el 8% resultado de sus 5,000 millones de toneladas. México no se queda atrás, pues su producción nacional de 4,800 millones de toneladas de sorgo representaría el 8% del total mundial, superando a países donde este cultivo es de vital importancia como Etiopía e India (4,400 millones de toneladas cada uno) (USDA, 2023).



Fuente: Elaborado con datos del USDA (2023).

Figura 2. Principales países productores de sorgo en 2023.

2.5 Producción de sorgo en México

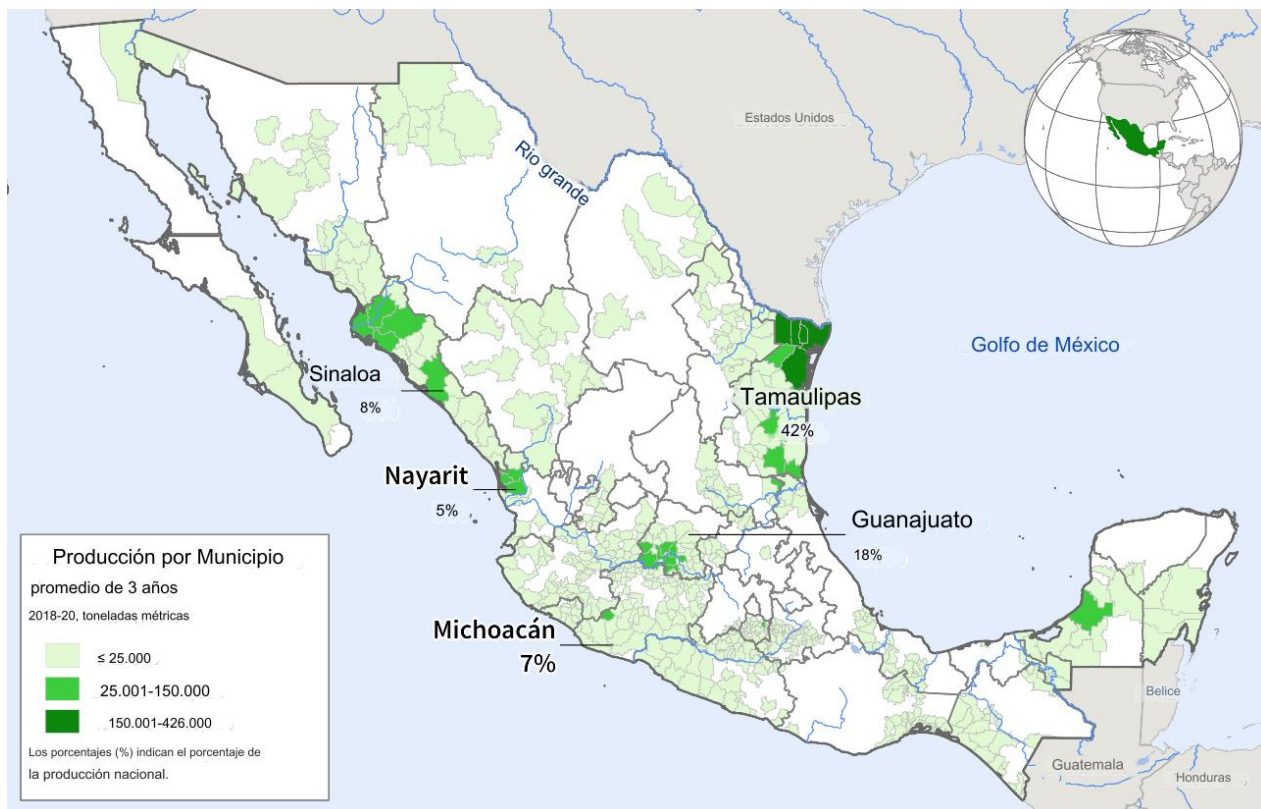
En México, el sorgo comenzó a adquirir importancia en la zona del norte de Tamaulipas (Río Bravo) aproximadamente en el año de 1958, cuando el algodón se vio desplazado en la región (Octavio, 1990).

A fines de la década de los cincuentas, se autorizan e introducen siembras comerciales de variedades híbridas (RS-610, RS-650, Amak R-10, NK-210, Asgrow, Dekalb, etc.) coincidiendo con el impulso al desarrollo de la porcicultura y avicultura, además de la industria del alimento animal balanceado cuya principal fuente de nutrientes era y se mantiene siendo el sorgo, dando como resultado un proceso de regionalización del cultivo en los años sesenta, concentrando la producción en estados como Sinaloa, Guanajuato, Michoacán, Jalisco, y principalmente el norte de Tamaulipas.

Con el pasar de los años el cultivo se vio extendido a lo largo y ancho del país, llegando prácticamente a todos los estados de la república, adquiriendo tal importancia que, para los años de 1976 – 1977 se alcanzó una superficie cultivada de 1,240,000 hectáreas (Octavio, 1990).

Según datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, en relación al avance de siembras y cosechas de sorgo de grano en diciembre del 2020 se registró una superficie sembrada de 884,906 ha, de las cuales 7,943 ha fueron siniestradas y se cosechó un total de 876,963 ha con una producción total de 2,363,652 ton con un rendimiento promedio de 2.695 ton/ha, posicionándose como la segunda especie más cultivada y la quinta más importante para ese año (SIAP, 2020).

Actualmente, los datos de producción coronan a Tamaulipas como principal estado productor de sorgo, siendo que, en el año 2017 de una producción nacional de 4,853,000 toneladas, Tamaulipas aportó 2,205,000 toneladas, significando un 45.45% de la producción total del país (Allende *et al.*, 2020).



Fuente: INEGI y SIAP (2023).

Figura 3. Producción de sorgo en México.

2.4 Principales plagas del cultivo

Los insectos plagas surgen cuando el hombre modifica el ambiente y la vegetación natural para crear el óptimo para los cultivos, es desde ese momento que la capacidad para producir alimentos es afectada y mermada por estas plagas. El sorgo no es una excepción, por lo que existe un complejo de insectos plaga que, de no tomar las medidas necesarias para su control, atacan y afectan bajando el rendimiento del cultivo, por lo que es necesario conocer estos intrusos para estar preparados ante su presencia (Naranjo, 2011).

2.4.1 Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* Smith)

La principal fase dañina de este insecto es la larvaria, la cual se alimenta del follaje haciendo raspaduras que son identificables como pequeñas áreas translúcidas en las hojas. Cuando la larva alcanza cierto desarrollo, se comienza a alimentar del follaje principalmente del cogollo, es cuando se observa su característico excremento en esta área de la planta.

Control de poblaciones:

Biológico: el cogollero tiene enemigos naturales que pueden ser usados para disminuir sus poblaciones a niveles bajos que no representen una amenaza para el cultivo. Entre estos se encuentran insectos parásitos de huevos, larvas y algunas especies de hongos.

Cultural: una correcta preparación del suelo puede exponer larvas y pupas al sol y a animales que se alimentan de ellas. Además, se recomienda efectuar un buen control de malezas ya que estas sirven de hospedero para esta plaga.

Químico: si el nivel de infestación es alto y se proveen daños al crecimiento de la planta o de la panoja se recomienda el uso de insecticidas, entre los cuales destacan la Permetrina (0.15-0.25 L/ha), Clorpirifos (0.5-1 L/ha) y Fenvalerato (0.25-0.5 L/ha).

2.4.2 Mosquita del sorgo (*Contarinia sorghicola*)

Es reportada como una de las plagas que más daños produce en el cultivo del sorgo a pesar de su corto ciclo de vida. Las hembras ovopositan únicamente sobre las panículas en floración amarilla, introduciéndolos lo más cerca el ovario, un promedio de 39 huevecillos, pero pueden llegar a rebasar los 100. Las larvas se alimentan del ovario y una sola de ellas puede dañar un grano hasta dejarlo inservible. Ya que su daño afecta directamente al producto a cosechar y la magnitud del daño es considerable, el control de este insecto representa una gran importancia económica, se reportan pérdidas en el rendimiento superiores al 50%.

Control de poblaciones:

Natural: hay factores naturales como la precipitación y la temperatura que influyen en la supervivencia de la mosquita, pues está comprobado que las altas precipitaciones reducen la emergencia de esta plaga, además de aumentar la mortalidad de las pupas. También este insecto cuenta con gran variedad de enemigos naturales.

Cultural: este control es de gran importancia ya que puede evitar infestaciones peligrosas. Se recomienda sembrar en ciclo uniforme evitando el escalonamiento de siembra, y, de ser inevitable, ubicar las siembras sucesivas contra la dirección del viento ya que este puede llevarse a las mosquitas con él. Es necesario controlar malezas, especialmente las hospederas como el Zacate Johnson y Falso Johnson, además de destruir los restos de las cosechas anteriores. Otro factor de importancia es evitar permanencia de sorgo para forraje en floración en la proximidad de sorgo de grano próximo a la emergencia de panoja, ya que representa un foco de infestación.

Químico: este debe ser usado con un criterio de amplia racionalidad, se recomienda aplicar insecticidas cuando los muestreos marquen un promedio de una mosquita por panoja en el cultivo. Estos muestreos deben realizarse tratando de cubrir toda la superficie sembrada para constatar si la infestación es total o parcial, pues en caso de que la infestación se limite a tan solo los márgenes de la siembra, solo será necesaria una aspersión orillera. Se recomienda hacer las aspersiones en la mañana si el día es seco, en caso contrario, si ha llovido, se recomienda aplicar en horas más avanzadas después del mediodía (Naranjo, 2011).

2.4.3 Pulgón amarillo del sorgo (*Melanaphis sacchari*)

Causa daño directo por la succión de savia en las hojas, ocasionando deformación y lesiones color marrón, además de que las plantas afectadas pueden retrasar su crecimiento y tener menor rendimiento (INTAGRI, 2015).

Bajo condiciones de temperatura y humedad óptimas, las poblaciones crecen exponencialmente e invaden tallos y panojas, que producen secado y acame en la planta en un lapso aproximado de 15 días. Producto de su alimentación, larvas y adultos excretan sustancias azucaradas en las hojas, lo que propicia el desarrollo de fumagina, la cual se traduce en una pérdida del 10% en el rendimiento por cada hoja atacada por esta enfermedad. Indirectamente, los pulgones son vectores de virus como *Sugarcane mosaic virus* (SCMV) y *Sugarcane yellow leaf virus* (ScYLV).

El período crítico de daño abarca desde la emergencia hasta el estado masoso del grano, por lo que es necesario monitorear la llegada de las primeras poblaciones por medio de trampas adhesivas amarillas, esto para asegurar un menor daño en etapas tempranas.



Fuente: INTAGRI (2015).

Figura 4. Especímen adulto de *Melanaphis sacchari*.

Control de poblaciones:

Biológico: en México, los organismos más importantes son las crisopas, catarinas y moscas sírfides, ya que han demostrado una mayor mortandad de áfidos. Se recomienda liberar estos organismos en los primeros 30 días post-emergencia para asegurar que las primeras poblaciones no alcancen tan fácilmente el umbral de daño económico.



Fuente: INTAGRI, (2015).

Figura 5. Larva de crisopa alimentándose de un pulgón.

Cultural: principalmente se recomienda destruir los residuos del sorgo al terminar la cosecha ya que este es hospedero primario del insecto, además deben eliminarse malezas. Otro punto importante que considerar es que el uso excesivo de sorgo vuelve los tejidos más atractivos para los pulgones, por lo que es necesario proporcionar un adecuado suministro del elemento, recalando la dosis, oportunidad y fuente.

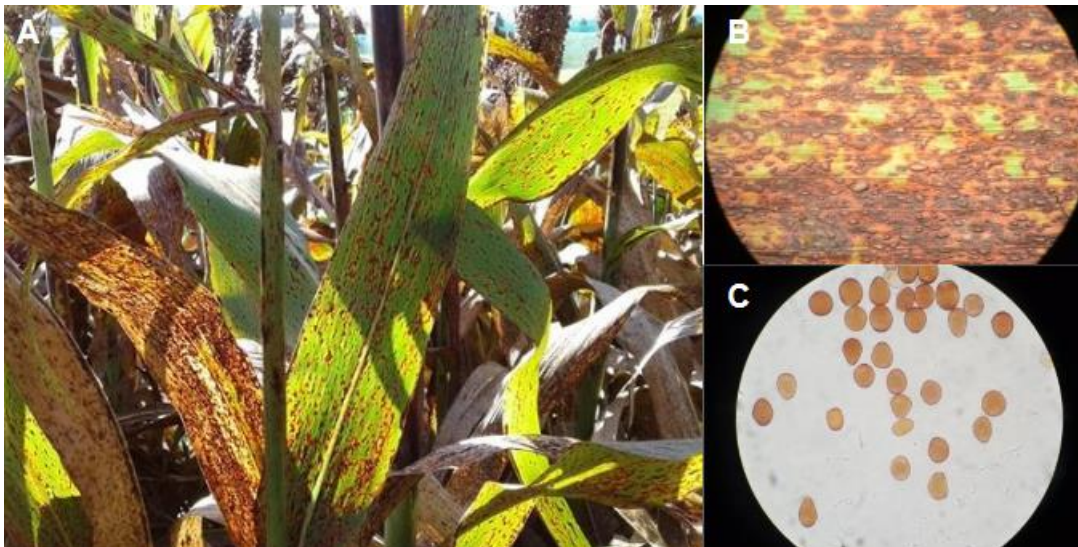
Químico: esta es una especie de fácil desarrollo de resistencia a insecticidas, lo que hace necesaria una estrategia de control, así como la rotación de productos. Los insecticidas sistémicos en la siembra reducen el ataque en los primeros días post-emergencia (INTAGRI, 2015).

2.5 Principales enfermedades del cultivo

2.5.1 Roya

La roya causada por *Puccinia purpurea* es la más distribuida, estando presente en todos los continentes. Se caracteriza por la presencia de pústulas (uredinios) entre castaño y rojizas, ferruginosas, tanto en el haz como en el envés, rodeadas de un área que puede ser púrpura, castaño oscura o rojiza según el genotipo, a veces con áreas amarillentas que contienen urediniosporas en su interior. Generalmente, la enfermedad se manifiesta desde la floración y condiciones de humedad alta favorecen su aparición y desarrollo. Bajo condiciones ambientales favorables, la roya puede disminuir la longitud de la exserción de la panícula, además de producir arrugamiento en el grano, que en conjunto alcanza pérdidas en el rendimiento de hasta el 65%.

El manejo de la enfermedad se centra en el uso de genotipos de sorgo resistentes o con buen comportamiento, por lo que la obtención de semilla mejorada es una estrategia de alto valor.



Fuente: INTAGRI (2015).

Figura 6. Roya. A. Ataque en hojas y tallo. B. Uredinios en hoja. C. Urediniosporas de *Puccinia purpurea*.

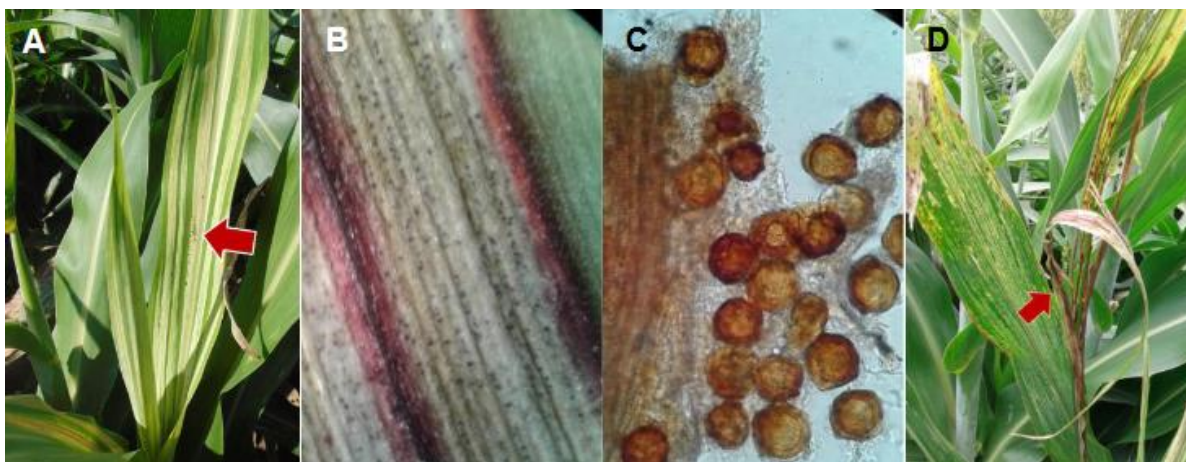
2.5.2 Mildiu

El downy mildew es ocasionado por cuatro especies de hongos patógenos a nivel mundial, de los cuales *Sclerophthora macrospora*, el agente causal del “crazy top”, y *Peronosclerospora sorghi*, agente causal del mildiu son los principales causantes de importantes pérdidas económicas. La enfermedad se manifiesta tanto de forma sistémica como localizada. La primera de estas es visible cuando el hongo coloniza el tejido meristemático de las hojas y se caracteriza en un principio por achaparramiento de las plantas y deficiencia en su desarrollo, con hojas erectas y angostas con un leve rallado clorótico que cubre toda la lámina foliar. En el envés, desarrolla una eflorescencia de conidióforos y conidios de *P. sorghi* en forma de cordones paralelos a las nervaduras. Seguido a esto, se presentan bandas cloróticas y/o necróticas intercaladas con tejido sano y un alto en el desarrollo de la planta, lo que se traduce en la falta de panícula. Se observan puntos oscuros que son signo de oosporas. Para finalizar, se produce rasgado de las hojas en tiras delgadas longitudinales (laciniado). Generalmente, este tipo de infección se produce por oosporas presentes en el suelo, que invaden las raíces y progresan ascendentemente colonizando tejidos (Velázquez, 2019).

La forma localizada de la enfermedad presenta bandas castañas claras a oscuras, paralelas y delimitadas a las nervaduras, con márgenes laterales definidos, con mucha eflorescencia blanquecina que se trata de conidióforos y conidios sobre el envés de la hoja. Con el tiempo se observan bandas paralelas y manchas irregulares que cubren la hoja casi totalmente, que finalmente forma grandes áreas de necrosis.

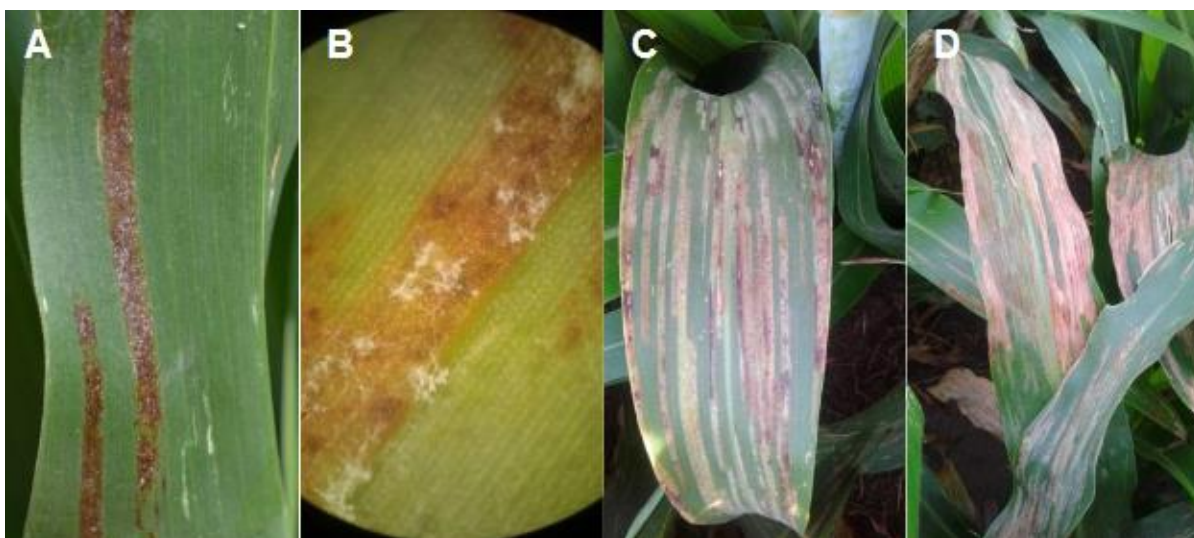
El patógeno se distribuye por oosporas que se adhieren a la semilla, por restos de plantas infestadas y por conidios que son dispersados por viento, mismos que son producidos favorablemente por condiciones nocturnas de humedad relativa alta y por días calurosos. Para su manejo se recomienda el uso de tratamientos de semilla que incluyan Metalaxil como principal activo, en conjunto con una buena rotación de cultivos, siembra en fechas óptimas y el uso de semilla mejorada. Si bien la resistencia genética es el método de control más eficiente, el patógeno es de alta variabilidad y el

uso prolongado de un mismo genotipo en la misma región favorece el surgimiento de nuevas razas resistentes (Velázquez, 2019).



Fuente: Velázquez (2019).

Figura 7. Mildiu sistémico en etapa avanzada. A. Hojas erectas con abarquillado y bandas cloróticas. B-C. Oosporas de *Peronosclerospora sorghi* sobre tejido necrótico. D. Laciniado de hojas.



Fuente: Velázquez (2019).

Figura 8. Mildiu localizado. A. Bandas con eflorescencia en el envés. B. Conidióforos y conidios de *P. sorghi*. C. Bandas paralelas. D. Áreas necróticas confluentes.

2.5.3 Antracnosis

La antracnosis (*Colletotrichum graminicola*) está caracterizada por manchas elípticas o circulares de tamaños variables, que desarrollan centros color pardo y bordes anchos purpuras; rojos o canela, según el material sembrado. Al centro de las lesiones se distinguen puntos negros que corresponden a acérvulos del hongo, mismas que presentan setas que sobresalen de estas estructuras. En condiciones de humedad alta y variaciones de temperatura, se producen esporas entre las setas que se observan como masas rosadas. Las lesiones pueden formar áreas necróticas en el tejido foliar. También es común encontrar sobre la nervadura central de algunos materiales lesiones alargadas o elípticas color rojo o púrpura (Bernal y Gonzales, 1994).

2.6 Contenido nutricional del sorgo de grano

En el Cuadro 4 se expone la composición de las fracciones de sorgo, el salvado es rico en componentes fibrosos, aunque algo bajo en proteína. La tracción del germen de sorgo es rica en ceniza, aceites y proteína, pero tiene niveles bajos de almidón. Arriba del 68% de los minerales totales y del 75% del aceite del grano entero se localiza en el germen de la semilla, aunque aporta solo el 15% de la proteína del grano, además de que el germen es rico en vitaminas B. Ahora bien, el endospermo, que abarca la mayor parte del grano, tiene relativamente bajos niveles de ceniza, minerales y aceites, mas, sin embargo, contribuye con el 80% de proteínas, 94% de almidón y del 50-75% de vitaminas B del grano total (FAO, 1995).

Cuadro 4. Composición nutricional del sorgo por 100 g de porción comestible y 12% de humedad.

Proteína (g)	10.4
Grasa (g)	3.1
Ceniza (g)	1.6
Fibra cruda (g)	2
Carbohidratos (g)	70.7
Energía (kcal)	329
Calcio (mg)	25
Hierro (mg)	5.4
Tiamina (mg)	0.38
Riboflavina (mg)	0.15
Niacina	4.3

Fuente: FAO (1995).

2.7 Sorgo para consumo humano

El sorgo, considerado el quinto cereal de mayor importancia en el mundo, representa una gran alternativa para la fabricación de alimentos para nutrición humana, pues una de sus características más importantes es su fuerte resistencia a zonas agroecológicas con falta de lluvia y gran sequía, terreno inadecuado para el desarrollo de otros cereales. Además, tiene ventaja sobre el maíz ya que este tiene una mayor tolerancia a factores como el calor y la salinidad, además de tener la gran capacidad de crecer en suelos con un bajo o limitado aporte de nutrientes. Sumado a todo esto, no contiene gluten y es una rica fuente de vitaminas del complejo B, carbohidratos y minerales, ofreciendo una solución a la demanda de alimentos y bebidas para personas celiacas, el cual es un problema de salud en aumento en muchos países (Christiansen, 2011).

En países en desarrollo, más comúnmente en África y Asia, el sorgo es usado como alimento al consumirlo como grano entero o en fabricación de harinas, con las que se preparan platillos típicos como gachas consistentes o delgadas, panes planos con masa de sorgo que puede ser fermentada o sin fermentar. También se preparan frituras en aceite y cocidos similares a los que se suelen preparar con sémola de maíz o arroz.

Otra opción recomendada por la FAO es la elaboración de pasta alimenticia compuesta por un 70% de trigo y un 30% de sorgo, pues es rica en nutrientes y muy buena opción para personas con la enfermedad celiaca. Al ser utilizado para la creación de panes y tortillas altos en fibra, el sorgo puede ayudar a prevenir enfermedades como la diabetes y la obesidad (Ortíz *et al.*, 2011). El sorgo también es rico en antioxidantes, los cuales ayudan a evitar el envejecimiento celular. El contenido de antioxidantes puede variar según el genotipo de sorgo, mas, se estiman entre 14 y 360 mg por gramo de sorgo (Christiansen, 2011).

Aun cuando suena como un cultivo milagroso, es necesario tener en cuenta la calidad para obtener el mayor valor nutricional, el cual es necesario para calcular las raciones y buscar de ser necesario alimentos que sirvan de complemento. Se prevé que la calidad, producción, almacenamiento, disponibilidad y consumo contribuirá a la seguridad alimentaria en donde se requiera (Pérez *et al.*, 2010).



Fuente: Christiansen (2011).

Figura 9. Galletas elaboradas a base 100% de sorgo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del sitio experimental

Se evaluaron 15 líneas experimentales de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) en el ciclo agrícola P-V. 2022, bajo condiciones de campo abierto en instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en el campo experimental el “Bajío”, Buenavista, Saltillo, Coahuila el cual se encuentra ubicado a 25° 21'37" latitud norte, 101°02'15" longitud oeste y a una altitud de 1,728 msnm (Google Earth, 2024). El clima de la localidad es templado semiseco, clasificado como Cfb por el sistema Köppen-Geiger. La temperatura media anual observada es de 16.4 °C con una precipitación anual promedio de 610 mm (Climate-Data, 2024). Las características del experimento se exponen en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Características del ensayo y diseño experimental.

Localidad	UAAAN
Diseño	Bloques completos al azar
Número de repeticiones	2
Fecha de siembra	26 de mayo 2022
Régimen hídrico	Riego por cintilla
Número de genotipos	15
Número de surcos por parcela	1
Número de plantas por surco	80
Longitud de surco (m)	5
Distancia entre surcos (m)	0.80 m
Distancia entre plantas (m)	0.062 m
Fertilización ¹	20-30-10 y 20-20-20
Densidad de población (plantas ha ⁻¹)	200,000

¹Fertidrip y triple 20

3.2 Germoplasma utilizado

El material utilizado consistió de 15 líneas experimentales de sorgo (Cuadro 6) los cuales pertenecen al Programa de Producción de Granos y Semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS) del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Cuadro 6. Líneas experimentales de sorgo (LES) evaluadas en el Campo experimental de la UAAAN ciclo P- V. 2022.

Número de identificación	Línea experimental	Color de grano
1	19-LES 278	Rojo
2	6-LES 109 B3	Crema, gluma roja
3	LES 285 B2	Blanco crema
4	LES 212-4 B3	Gris, gluma roja
5	LES 27 B5	Gris, gluma café
6	LES 237-5 B4	Rojo
7	LES 36 B2	Rojo claro
8	LES 86 B5	Naranja
9	LES 28-1 B4	Negro rojizo
10	LES 212-1 B3	Gris, gluma negra
11	LES 258-1 B4	Crema, gluma café
12	LES 118-1 B4	Crema
13	LES 188 B4	Rojo
14	LES 103-3 B3	Crema, gluma negra
15	LES 229 B4	Negro

3.3 Manejo agronómico del cultivo

3.3.1 Preparación del terreno

La preparación del terreno se llevó a cabo de manera mecanizada, con un barbecho de 20 a 25 cm de profundidad y tres posteriores rastreadas con el fin de conseguir un terreno más uniforme y deshacer terrones, y de este modo no obstruir la emergencia de las plántulas y mejorar su desarrollo radicular. Se utilizó cinta métrica de 50 metros y cal para manualmente medir y limitar las parcelas y bloques experimentales.

3.3.2 Siembra

Se realizó de manera manual directamente en campo el día 26 de mayo del 2022, colocando la semilla a una profundidad de aproximadamente tres veces su tamaño y quedando cubiertas con tierra sin hacer sobrepresión. Se colocó el sistema de riego con cintilla por goteo y se aplicó el primer riego.

3.3.3 Desmezcle

Actividad básica que consiste en la eliminación de plantas ajenas a la descripción morfológica de los genotipos, las cuales son resultantes de cultivos anteriores establecidos en el campo experimental. Se identificaron de manera visual y se llevó a cabo hasta la floración, puesto que el color del grano es un factor de gran ayuda en esta labor.

3.3.4 Fertilización

Un mes después de la siembra se aplicó la primera fertilización a base de NPK (20-30-10) de forma granulada al pie de la planta, posteriormente una aplicación foliar con mochilas aspersoras de 20-20-20 con micronutrientes en una dosis de 2.5 ml L⁻¹ en adición de adherente/dispersante con una dosis de 1.5 ml L⁻¹ para mejorar la adherencia del fertilizante a la planta. Igualmente, de 2 a 3 veces por semana se aplicó

fertilizante foliar a base de ácidos húmicos y fúlvicos a la dosis indicada por el fabricante, durante toda la etapa vegetativa, reproductiva y hasta el llenado de grano.

3.3.5 Control de malezas

Principalmente se utilizó control de malezas de manera manual, retirando cualquier planta ajena al material del experimento de los alrededores para evitar competencia interespecífica. También se aplicó Paraquat en una dosificación de 2 ml L⁻¹ con adherente con mochilas aspersoras.

3.3.6 Manejo de plagas y enfermedades

El día de la siembra se colocaron trampas de feromonas dirigidas para el monitoreo de polillas de gusano cogollero. Como bien sabemos, un buen manejo integrado de plagas y enfermedades se realiza a lo largo de todo el ciclo del cultivo, por lo que se realizaron monitoreos de 2-3 veces por semana, lo que permitió detectar la presencia de gusano cogollero, para el cual se aplicó Spinetoram con una dosis de 1.5 ml L⁻¹. Posteriormente se detectó pulgón amarillo, lo que se manejó con la aplicación de Clorpirifos etil con dosis de 1.5 ml L⁻¹.

3.3.7 Cosecha

Para noviembre (2022), se llevó a cabo la cosecha manualmente siendo que el grano presentaba un contenido de humedad con promedio del 13% aproximadamente. Se utilizó una hoz para cortar las panículas más representativas de cada línea experimental, se etiquetaron por genotipo y bloque y se trasladaron a bodega para su respectiva trilla.

3.3.8 Trilla

Se llevó a cabo durante el mes de febrero del 2023, esta actividad consiste en retirar los granos de las panículas y separar las glumas y otros materiales inertes del grano con ayuda de un ventilador.

3.4 Variables evaluadas

Se seleccionaron tres plantas al azar en competencia completa, las cuales se consideraron como las más representativas de su población (línea experimental) para la evaluación y análisis de datos en las siguientes variables:

3.4.1 Altura de planta (AP)

Cuando la planta llegó a la etapa de madurez fisiológica del grano, con la ayuda de una regla de madera, se midió desde la base del tallo hasta la parte apical de la panícula y se expresó el promedio en centímetros.

3.4.2 Longitud de la panícula (LP)

Esta variable se midió con una regla de 30 centímetros partiendo desde la base de la primera rama primaria hasta la parte apical de la panícula y se expresó el promedio en (cm).

3.4.3 Longitud de la excursión (LE)

Para esta variable se midió desde la hoja bandera hasta el punto de inserción de la panícula y se expresó el promedio en centímetros.

3.4.4 Días de floración (DF)

Se capturó la fecha en que cada población alcanzó floración (aparición de las panículas) en un 50% de sus plantas y se calcularon los días de floración en base a la fecha de siembra.

3.4.5 Rendimiento de grano por planta (RTO)

Después de la trilla, con ayuda de una balanza analítica se determinó el peso total de la muestra de cada híbrido y se dividió entre el número de panículas trilladas para estimar el rendimiento de grano en gramos por planta. El resultado se expresó en gramos por planta (g planta^{-1}).

3.4.6 Peso de 1000 semillas (PMS)

Se utilizó el método de repeticiones el cual consiste en tomar ocho muestras de 100 semillas, calcular la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación, si este no es mayor a cuatro se aplica la siguiente fórmula para obtener el resultado:

$$\text{Peso de 1000 semillas} = \text{media aritmética} * 10$$

3.5 Análisis estadístico

Para la evaluación de 15 genotipos de sorgo y seis variables estimadas en el ciclo agrícola P-V. 2022, se utilizó el diseño de bloques al azar con dos repeticiones, bajo el siguiente modelo estadístico:

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

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.

Para verificar la eficiencia del manejo del experimento, se determinó el coeficiente de variación en cada una de las variables consideradas mediante 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 Tukey para la comparación de medias

Calcular DMSH = $q(\alpha, T, gl\text{-error}) * S\bar{X}$

Dónde:

$q(\alpha, T, gl\text{-error})$ = 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 = $\sqrt{CME/r}$

Correlaciones fenotípicas entre las variables evaluadas

Correlación fenotípica = $r(xy)$; = $COV(xy) / S(x) \cdot S(y)$

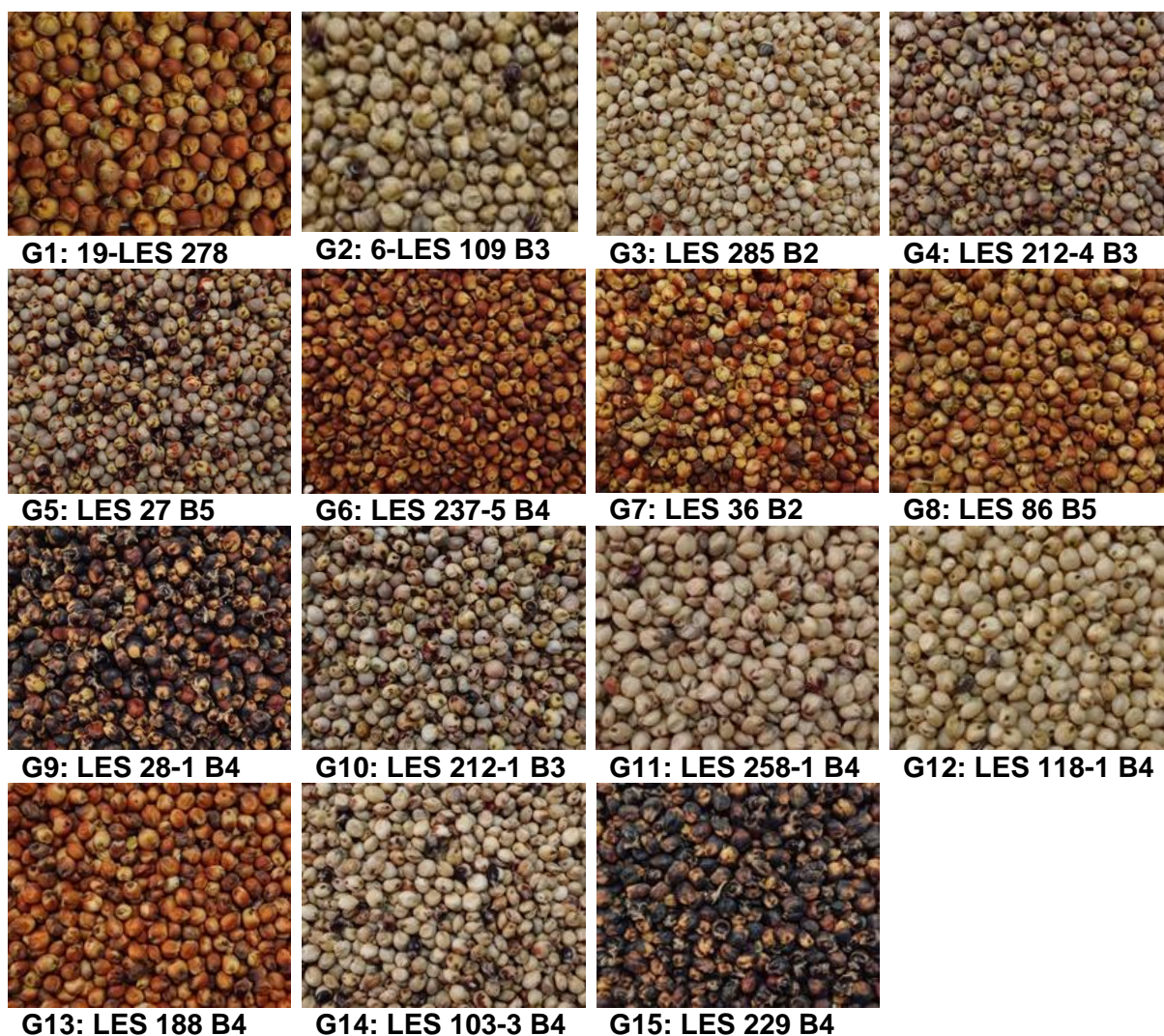
En donde:

$r(XY)$ y $COV(XY)$ son las correlaciones y covarianzas fenotípicas en las variables x e y, respectivamente; $S(x)$ y $S(y)$ son las desviaciones estándar fenotípicas.

Los datos se analizaron utilizando el paquete estadístico Minitab versión 16.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se evaluaron 15 genotipos de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) mismos que se exponen en la Figura 10, donde principalmente es posible apreciar los pigmentos presentes en la testa del grano, siendo que las tonalidades rojizas y crema son las que están más presentes.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Variación en el color de grano de las líneas experimentales de sorgo.

La coloración del grano está relacionada con características morfológicas como lo son el color y espesor del pericarpio, el color del endospermo e inclusive pueden indicar presencia o ausencia de algunos genes, además de la presencia de taninos en la testa (Massigoge *et al.*, 2008).

Para la evaluación cualitativa del grano de sorgo se utilizó como referencia la guía técnica para la descripción varietal del sorgo (TG/122/4) en su descriptor (29) color de grano de acuerdo a las directrices de examen de la distinción, homogeneidad y estabilidad de la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV, 2015).

Con respecto a los resultados obtenidos en el análisis de varianza de bloques completos al azar para las variables cuantitativas evaluadas en las 15 líneas experimentales de sorgo (Cuadro 7), se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre los genotipos para las variables de PMS y RTO, mas diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en las variables de AP, LP, LE, y DF. Estos resultados representan la variación encontrada en el germoplasma evaluado. Los coeficientes de variación en las variables presentaron valores bajos, siendo el rendimiento el valor más alto (C.V. = 32.23%), por lo que se considera que se pueden tomar decisiones confiables con respecto a los datos obtenidos.

Cuadro 7. Cuadrados medios del análisis de varianza y coeficientes de variación de las variables agronómicas en genotipos de sorgo durante el ciclo P-V. 2022.

F.V.	G.L.	Cuadrados Medios					
		AP	LP	LE	DF	PMS	RTO
Genotipos	14	324.93**	12.88**	40.126**	2.34**	38.25*	644.6*
Bloques	1	12.03	0.30	0.37	0.033	3.89	864.6
Error	14	3.36	1.76	1.18	0.0312	14.34	254.0
Total	29						
Media		131.54	24.19	15.64	67.83	30.50	49.44
C.V. (%)		1.39	5.48	6.94	0.26	12.42	32.23

*Significativo y **Altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.05 y 0.01 respectivamente. ¹AP= altura de planta, LP= longitud de panícula, LE= longitud de excursión, DF= días a floración, PMS= peso de mil semillas y RTO= rendimiento.

Los resultados de la prueba de comparación de medias (Tukey ≤ 0.05) se exponen en el Cuadro 8, donde con respecto al rendimiento, la variable de mayor importancia, los genotipos 4 (100.9 g pl⁻¹), 10 (62.7 g pl⁻¹) y 3 (58.9 g pl⁻¹) se mostraron sobresalientes, además de superar el rendimiento obtenido por Jabereldar *et al.*, (2017) con un rendimiento 28.2 a 67.5 granos por planta cultivados bajo condiciones de humedad. Sobre la variable AP, estos genotipos presentan porte bajo siendo los genotipos 3 (150.5 cm) y 14 (153.8 cm) los de mayor altura de planta, siendo una altura ideal para cosechas mecanizadas. Los genotipos 5 (27.5 cm) y 15 (28.8) tuvieron mayor longitud de panícula, sin embargo, esta característica no se reflejó en un alto rendimiento de semilla, pues se observó en campo que algunos genotipos de menor tamaño pueden presentar un mayor número de espiguillas y un mayor peso de grano que genotipos con espigas de mayor longitud.

Cuadro 8. Comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) de 15 líneas experimentales de sorgo evaluadas en el campo experimental de la UAAAN, durante el ciclo P-V. 2022.

Genotipo	AP cm	LP cm	LE cm	DF días	PMS g	RTO g pl ⁻¹
4	131.8 b	23.5 a	16.7 b	68 b	35.4 a	100.9 a
10	124.2 g	24.7 a	24.8 a	68 b	25.2 b	62.7 a
3	150.5 a	25.8 a	13.7 c	67 b	25.5 b	58.9 a
11	114.7 h	23.3 b	7.7 e	68 b	32.4 a	56.1 a
12	125.8 f	21.2 c	13.5 c	67 b	34.6 a	54.3 a
8	133.7 c	21.0 c	17.5 b	70 a	29.9 a	53.7 a
7	140.7 b	25.5 a	20.8 a	67 b	26.0 b	53.5 a
1	125.8 f	24.3 a	12.8 d	67 b	31.5 a	53.3 a
14	153.8 a	24.0 a	18.7 b	67 b	30.5 a	51.4 a
13	110.5 h	20.2 a	14.2 c	71 a	32.3 a	48.1 a
2	141.5 b	26.7 a	8.0 e	68 b	25.9 b	44.7 a
5	130.5 e	27.5 a	16.7 b	67 b	28.2 a	38.2 a
6	136.3 b	21.2 c	16.5 b	67 b	25.5 b	37.6 a
9	114.2 h	25.2 a	14.2 c	67 b	36.6 a	35.1 b
15	139.2 b	28.8 a	19.0 b	67 b	38.1 a	17.50 b
Tukey 0.05	7.41	5.36	4.39	0.71	11.28	64.46

¹AP= altura de planta, LP= longitud de panícula, LE= longitud de excersión, DF= días a floración, PMS= peso de mil semillas y RTO= rendimiento.

En general se observa que a excepción de los genotipos 11 (7.7 cm) y 2 (8.0 cm), este germoplasma muestra un adecuado índice de excersión superior a los 10 cm, lo cual es un factor de gran importancia ya que en recolección mecanizada si se tiene un genotipo con poca excersión de panoja, al cosecharse se corta la hoja y el tallo de la planta, aumentando la cantidad de material extraño, disminuyendo la calidad del grano. En promedio, los genotipos alcanzaron la floración (en un 50% de plantas por parcela) en un lapso de 67 días, siendo la excepción a esto los genotipos 8 y 13 (70 días), mostrando ser más precoces que los híbridos de sorgo para grano evaluados por Manila *et al.*, (2016), quién reporta alcanzar esta etapa en un periodo mayor a estos 70 días. El peso de mil semillas presentó un rango de 38.1g a 25.2 g, superando los reportados por Manila *et al.*, (2016), quienes obtuvieron un rango de 16 g a 25 g.

En el Cuadro 9 se observa la correlación entre las variables agronómicas evaluadas. Se encontró que las variables LP y DF (-0.563*) están relacionadas de manera negativa y estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$), por lo que se mostró que en estas líneas experimentales de sorgo se presenta una tendencia donde el aumento en los días de floración corresponde en una disminución de la longitud en la panícula, misma tendencia que se puede observar en los genotipos 8 y 13 en el Cuadro 8.

Cuadro 9. Coeficiente de correlación fenotípica entre rendimiento y variables agronómicas.

	AP	LP	LE	DF	PMS
LP	0.373				
LE	0.233	0.100			
DF	-0.280	-0.563*	-0.021		
PMS	-0.398	-0.014	-0.154	-0.011	
RTO	-0.011	-0.334	0.042	0.129	-0.069

*Significativo al 0.05 de probabilidad. ¹AP= altura de planta, LP= longitud de panícula, LE= longitud de excersión, DF= días a floración, PMS= peso de mil semillas y RTO= rendimiento.

Se encontró una relación negativa entre las variables PMS y AP (-0.398), misma que se observa principalmente en los genotipos 4 y 9 (Cuadro 9) lo cual se traduce en la tendencia de plantas de porte bajo a producir granos de mayor peso, característica beneficiosa en genotipos de sorgo destinados para producción de grano.

V. CONCLUSIONES

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

- El análisis de varianza de bloques al azar presenta diferencias significativas y altamente significativas entre genotipos para las variables agronómicas evaluadas.
- El rendimiento de los genotipos 4 (100.9 g pl⁻¹), 10 (62.7 g pl⁻¹) y 3 (58.9 g pl⁻¹) demostraron ser sobresalientes con respecto al resto de genotipos evaluados según la prueba de comparación de medias (Tukey ≤ 0.05) por lo tanto, es recomendable su evaluación en próximos ciclos de selección para producción de grano en la región sureste de Coahuila.
- La longitud de excursión de los genotipos 10 (24.8 cm) y 7 (20.8 cm) demostraron ser sobresalientes con respecto al resto de genotipos evaluados según la prueba de comparación de medias (Tukey ≤ 0.05).
- Se presentó una correlación negativa y significativa entre las variables LP y DF (-0.563*).
- El color del grano de sorgo como un descriptor cualitativo, está asociado a la calidad nutricional.

VI. LITERATURA CITADA

- Allende, F. A., Mata, R. G., Sánchez, R. C. G., Flores, J. S. M., & Sangermán-Jarquín, D. M. (2020). Competitividad de la producción de sorgo en el norte de Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(1), 139-150. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i1.1914>
- Bernal Riobol, J. H., & Gonzales R., L. A. (1994). Enfermedades del sorgo y su manejo. [Boletín, Instituto Tecnológico Industrial Villavicencio]. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/1145/28822_19778.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Christiansen, Kimberly, "Recetario de Productos Elaborados a Base de Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench)" (2011). INTSORMIL Scientific Publications. 15. Sitio web: <https://digitalcommons.unl.edu/intsormilpubs/15>
- Climate-Data. (2024). Clima Saltillo: Temperatura, Climograma y Tabla climática. Consultado en febrero 2024. Disponible en: <https://es.climate-data.org/america-del-norte/mexico/coahuila-de-zaragoza/saltillo-4988/>
- FAO. (1995). El sorgo y el mijo: en la nutrición humana. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). ISBN 92-5-303381-9
- FAO. (1997). La Economía del Sorgo y del Mijo en el Mundo: Hechos, Tendencias y Perspectivas. Food & Agriculture Organization of the United Nations (FAO) e International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT). ISBN 92-5-303861-6
- FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos). (2019). Inventarios de alimentos humanos. Generalmente reconocido como seguro (GRAS). <https://www.fda.gov/food/food-ingredients-packaging/generally-recognized-as-safe-gras>.

- García Atance, G. (1982). El sorgo para grano (No. Folleto 8070).
- García, M. D. M., García, C. M. A., & Gil, A. 2006. Importancia de los lípidos en el tratamiento nutricional de las patologías de base inflamatoria, *Nutrición Hospitalaria*, 21, 30–43.
- González, V. (2023). Cuantificación e identificación de taninos por HPLC-MS de extractos etanólicos de dos genotipos de sorgo (*Sorghum bicolor* L.). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Coahuila. Saltillo, Coahuila. 67 p.
- Google Earth, (2024). Consultado en febrero del 2024. Disponible en: <https://earth.google.com>
- House, L.R. 1985. A guide to sorghum breeding. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), Andhra Pradesh, INDIA.
- INTAGRI. (2015) Pulgón Amarillo del Sorgo. Consultado en febrero del 2024. Sitio web: <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/pulgon-amarillo-sorgo>
- House, L.R. 1985. A guide to sorghum breeding. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), Andhra Pradesh, INDIA.
- Kimber, Clarissa T.; Dahlberg, J. A. & Kresovich, S. (2013). The genepool of *Sorghum bicolor* and its improvement. In: A. H. Paterson, ed. *Genomics of the Saccharinae*. New York: Springer. p. 23-42.
- Naranjo, J. (2011). El cultivo del sorgo (*Sorghum vulgare*) como una alternativa medicinal y alimenticia. Consultado en febrero del 2024. Sitio web: <https://www.monografias.com/trabajos83/cultivo-sorgo-sorghum-vulgar/cultivo-sorgo-sorghum-vulgar2>
- Massigoge, J., Zamora M. y Melín A. (2008). Evaluación del contenido de taninos en híbridos de sorgo graníferos. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Vera Cruz, Argentina. 2 p.

- Octavio, B. Z. M. (1990). Evaluación de líneas experimentales de sorgo (*sorghum bicolor* L. moench.) del programa de mejoramiento genético de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Guadalajara.
- Ortiz, N. C. L., Tique, M. M., & Lavalle, L. D. S. P. (2011). Contribución al estudio del sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para nutrición humana. *Perspectivas en Nutrición Humana*, 13(1), 33-44.
- Pérez, A., Saucedo, O., Iglesias, J., Wencomo, H. B., Reyes, F., Oquendo, G., & Milián, I. (2010). Caracterización y potencialidades del grano de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Pastos y forrajes*, 33(1), 1-1.
- Rodríguez, S. (2023). Evaluación de Insecticida y Bioinsecticida para el Control Químico y Biológico de Pulgón Amarillo (*Melanaphis sacchari*) en Genotipos de Sorgo. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila. 60 p.
- SAGARPA. (2017). Sorgo grano mexicano. Consultado en marzo del 2024. Sitio web: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256433/B_sico-Sorgo_Grano.pdf
- SENA. (1990). El cultivo del sorgo. Consultado en diciembre del 2023. Sitio web: https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/4097/1/el_cultivo_sorgo.PDF.
- Serna-Saldivar, S. O. (2016). Cereal grains: properties, processing, and nutritional attributes. CRC press.
- Shen S., Huang R., Li C., Wu W., Chen H., Shi J., Chen S., Ye X. (2018). Phenolic compositions and antioxidant activities differ significantly among sorghum grains with different applications. *Molecules* 23: 2-15. <https://doi.org/10.3390/molecules23051203>.
- SIAP-SAGARPA. 2018. Cosechando números del campo. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/numeros-del-campo>.
- SIAP. (2020). Producción nacional de sorgo para grano. Consultado en enero del 2024. Sitio web:

http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do

UPOV. (2015). Directrices de examen de la distinción, homogeneidad y estabilidad del cultivo de sorgo (TG/122/4). Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales.

USDA. (2023). Sorghum Explorer. Consultado en febrero del 2024. Sitio web: https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=0459200&sel_year=2023&rankby=Production

Velázquez, P. (2019). Enfermedades del sorgo en el Centro Oeste de Entre Ríos. En Boletín de la Asociación Argentina de Fitopatólogos (ISSN: 2618-1932). Asociación Argentina de Fitopatólogos. Recuperado en febrero del 2024, de <http://aafitopatologos.com.ar/wp/wp-content/uploads/2019/06/Boletin-N4-Velazquez-PD-1.pdf>