

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Evaluación del Comportamiento Agronómico y Rendimiento de Grano en
Híbridos Experimentales de Sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]

Por:

DANIEL CRUZ ROSAS

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 y Rendimiento de Grano en
Híbridos Experimentales de Sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]

Por:

DANIEL CRUZ ROSAS

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 (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



Daniel Cruz Rosas

DEDICATORIA

A mis padres, **Juan Gabriel Cruz Santes** y **Esther Rosas Ambrosio**, muchas gracias por darme la vida, haberme cuidado y apoyarme durante toda mi vida. A ustedes que son mi ejemplo a seguir y el motivo por el cual salir adelante. Que esta meta cumplida sea una muestra más del agradecimiento y amor que siento por ustedes, no fue fácil llegar hasta aquí, pero en familia se logró. Gracias por darme la oportunidad de estudiar y recibir una de las mejores herencias, la educación. Este logro también es de ustedes me siento muy feliz y orgulloso de poder decirles que logramos cumplir una meta más. Nuevamente muchas gracias por apoyarme y seguirme apoyando.

A mi hermana **Julieta Cruz Rosas**. A ti con quien he compartido grandes momentos en la vida, gracias por estar presente y apoyar para que lograra cumplir uno de mis grandes sueños. Me siento muy contento de ser tu hermano mayor. Estoy orgulloso de ti, de lo que has logrado, espero con mucho anhelo el día que tú también logres cumplir una de tus más grandes metas. Gracias por estar presente en este momento muy importante, recuerda que siempre estaré para ti.

En memoria de mis abuelos, los responsables de que mis padres sean las personas que son y de haber inculcado en ellos el trabajo y el respeto hacia el campo. Mis abuelos, **Dolores** y **Camilo** a quienes no pude conocer, pero que viendo a mi mamá y lo que me ha dicho ella sobre ustedes me puedo imaginar cómo hubiera sido si los hubiera conocido.

Con mucho amor a mi abuela **Lucia**, sé que ya no me viste cumplir este logro, pero siempre estuviste, estas y estarás en mi memoria acompañándome durante toda mi vida. Muchas gracias por cuidar a mi papá. A mi abuelo **Necho**, fuiste parte fundamental en la vida de mi padre. A ustedes que físicamente no estuvieron conmigo, pero que fueron muy importantes para que pudiera cumplir este objetivo.

A mis tías, primas y primos de quienes recibí apoyo de distintas maneras durante mi formación profesional, les agradezco por todo.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por haberme permitido vivir todo este tiempo, protegerme y cuidar a mi familia, permitiendo compartir con ellos la alegría de culminar mis estudios profesionales.

A mi Alma Mater, la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, quien desde el primer día que llegue a sus instalaciones se convirtió para mí en un segundo hogar. Por darme oportunidad para adquirir los conocimientos que me formaron profesionalmente y de conocer valiosos amigos. Ahora me corresponde poner en alto el nombre de mi universidad.

A mi asesor principal el **Dr. Antonio Flores Naveda**, por permitirme ser parte de su equipo de trabajo, haberme compartido sus conocimientos, por mostrar compromiso y apoyo para la realización de este trabajo.

Al **Dr. Armando Muñoz Urbina**, por el apoyo, el tiempo y sus aportaciones que brindo para realizar esta investigación. A los Doctores: **Josué Israel García López y Perpetuo Álvarez Vázquez**, por su valiosa participación y aportaciones necesarias para la culminación del presente trabajo.

A mis amigos y compañeros de tesis, Noé Alberto, Romeo, Salomón, Melvin quienes me apoyaron en el trabajo de campo y durante la mi formación profesional. A **Gonzalo** y **Aarón** quienes siempre estuvieron dispuestos a ayudarme, me mostraron su amistad, nunca se me olvidaran las tardes de ir al gimnasio. Espero seguir contado con la amistad y el apoyo que siempre me demostraron.

Al **C. Lorenzo Villa Sandoval** por siempre apoyarme en el trabajo en campo, siempre con responsabilidad y dándolo todo para llevar a cabo el proyecto de investigación. A todas aquellas personas que aportaron su granito de arena y que en conjunto me ayudaron para cumplir una de mis grandes metas.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xi
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 y distribución del cultivo de sorgo.....	4
2.2. Producción de sorgo a nivel mundial.....	5
2.3. Producción de sorgo en México	6
2.4. Importancia del sorgo.....	7
2.5. Clasificación taxonómica.....	8
2.6. Morfología de la planta.....	8
2.7. Etapas fenológicas	10
2.8. Líneas A, B y R de sorgo	14
2.9. Producción de semilla híbrida de sorgo	16
2.10. Regla para la calificación de semilla de sorgo.....	18
2.11. Principales plagas en sorgo	21
2.12. Principales enfermedades en sorgo	24
2.13. Uso en la alimentación animal y humana.....	27
III. MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1. Localización del sitio experimental	30
3.2. Germoplasma utilizado.....	31

3.3. Manejo agronómico	31
3.3.1. Preparación del terreno	31
3.3.2. Siembra	32
3.3.3. Desmezcle	32
3.3.4. Fertilización	32
3.3.5. Control de malezas.....	33
3.3.6. Control de plagas y enfermedades	33
3.3.7. Cosecha	33
3.3.8. Trilla de grano.....	34
3.4. Variables evaluadas.....	34
3.4.1. Altura de planta (AP)	34
3.4.2. Longitud de la excursión (LE)	34
3.4.3. Longitud de la panícula (LP).....	34
3.4.4. Incidencia de daño por aves (IDA).....	35
3.4.5. Enfermedades foliares (EF).....	35
3.4.6. Peso de 1000 semillas (PMS)	35
3.4.7. Rendimiento de grano por planta (RTO).....	35
3.4.8. Color del grano	36
3.5. Análisis estadístico	36
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
V. CONCLUSIONES	46
VI. LITERATURA CITADA.....	47
VII. APENDICE.....	53

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Principales estados productores de sorgo en México en el año 2022.	6
Cuadro 2. Categorías y equivalencias.	18
Cuadro 3. Distancia de aislamiento.	19
Cuadro 4. Tolerancias en campo.	20
Cuadro 5. Criterios y especificaciones de laboratorio.	20
Cuadro 6. Contenido nutricional del sorgo.	29
Cuadro 7. Características del ensayo y parcela experimental.	30
Cuadro 8. Híbridos experimentales evaluados en el campo experimental de la UAAAN ciclo P- V 2022.	31
Cuadro 9. Color de grano de los híbridos evaluados en el campo experimental Bajío de la UAAAN, ciclo P-V 2022.	38
Cuadro 10. Cuadrados medios y significancia estadística de 27 híbridos experimentales de sorgo evaluados en el campo experimental El Bajío de la UAAAN, ciclo P-V 2022.	39
Cuadro 11. Comparación de medias mediante la prueba de Tukey 0.05 de 27 híbridos de sorgo evaluados en el campo experimental El Bajío de la UAAAN, ciclo P-V 2022.	40
Cuadro 12. Correlaciones fenotípicas entre las variables agronómicas de sorgo evaluadas en el ciclo P-V 2022.	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales países productores de sorgo en 2023/2024 (en miles de toneladas métricas).	5
Figura 2a. Etapas fenológicas 0-4 del sorgo.	13
Figura 2b. Etapas fenológicas 5-9 del sorgo.	14
Figura 3. Producción de semilla híbrida de sorgo.....	16

RESUMEN

El sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) es uno de los cinco cereales con mayor importancia a nivel mundial, el grano se utiliza para consumo humano y en la alimentación animal. La planta de sorgo presenta mecanismos de tolerancia a calor y sequía. El grano es una alternativa viable para la alimentación humana ya que presenta un alto contenido de proteínas, fibra, lípidos, vitaminas y minerales. El objetivo de la investigación fue seleccionar híbridos experimentales de sorgo, mediante su comportamiento agronómico y potencial de rendimiento de grano. En el ciclo agrícola primavera-verano, 2022 en el Campo Experimental Buenavista de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), se sembraron 27 híbridos experimentales de sorgo para grano del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS) del Departamento de Fitomejoramiento de la UAAAN, bajo un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones. Se realizó un análisis de varianza, prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) y un análisis de correlación fenotípica entre las variables evaluadas con el paquete estadístico Minitab v. 16. Las variables evaluadas fueron altura de planta (AP), longitud de panícula (LP), longitud de excursión (LE), incidencia de enfermedades foliares (EF), incidencia de daño por aves (IDA), peso de 1000 semillas (PMS), rendimiento (RTO) y color de grano en etapa de madurez fisiológica final. El análisis de varianza detectó diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre híbridos para todas las variables agronómicas evaluadas. La altura de planta mostró correlación altamente significativa ($p \leq 0.01$) y positiva con longitud de la excursión ($r = 0.704$), lo que indica que las plantas más altas presentaron una mayor longitud de excursión. El híbrido 10 (2921A x 90538R) de color marrón claro, fue el que presentó el mejor comportamiento agronómico en las variables evaluadas, por lo tanto, se recomienda el incremento de semilla de sus líneas progenitoras para producción de semilla híbrida de sorgo para grano en la región sureste de Coahuila.

Palabras clave: Sorgo, semilla, híbridos experimentales, rendimiento, grano.

I. INTRODUCCIÓN

El origen del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) ha sido discutido a través de los años, ya que se plantea que procede del noreste de África, en la región ocupada por Etiopía, aunque se ubicó inicialmente en la India. Se introdujo en América en el siglo XVIII. Se considera que muchas especies distintas se cultivan de forma esporádica en países de América, y que los sorgos actuales son híbridos de esas introducciones o de mutantes que han aparecido. Este cultivo tiene gran importancia a escala mundial, pues está comprobado que puede sustituir cereales como el trigo y el maíz en la mayoría de los usos de estos, tanto en la alimentación humana como en la producción de forraje o grano y también en la industria (Pérez *et al.*, 2010).

El sorgo un cultivo autóctono de África y, aunque las necesidades y usos comerciales pueden cambiar con el tiempo, el sorgo seguirá siendo un alimento básico para diversas comunidades rurales, principalmente en regiones más propensas a la sequía, donde este resistente cultivo proporciona una mejor seguridad alimentaria familiar comparado con el cultivo del maíz.

La planta presenta buena adaptabilidad al medio ambiente y rendimientos aceptables, por lo que se le ha denominado “el cereal del siglo XXI”. A nivel mundial, a principio de los sesenta una gran producción de sorgo se empleaba directamente en la alimentación humana; mientras que en la actualidad la utilización de sorgo para consumo animal se ha duplicado. El sorgo es un cereal que destaca por sus características agronómicas y nutricionales aportando grandes beneficios en la alimentación, tanto humana como animal. En la actualidad existe una necesidad mundial de aumentar de manera sostenible la producción de cereales como una alternativa para contribuir la seguridad alimentaria y las necesidades crecientes de los pueblos, lo que ha propiciado que los agricultores busquen mayores rendimientos en las áreas improductivas utilizando especies que se adapten a esas condiciones (Pérez *et al.*, 2010).

Para el año de 1994 en México se iniciaba con el mejoramiento genético de sorgo en la oficina de Estudios Especiales. Posteriormente, las actividades de mejoramiento se realizaron en tres regiones con la introducción de material genético de donde se derivaron líneas y se generaron los primeros híbridos de sorgo adaptados. El programa se ha enfocado a la generación de material genético e híbridos para diversos usos de mercado entre los que sobresalen el de alimento balanceado, alimento para consumo humano y la producción de biocombustibles. A principios de los 70's, la PRONASE empezó a producir los híbridos liberados por el entonces INIA, hoy INIFAP. Para 1980 se producían en el norte de Tamaulipas 28000 toneladas de semilla de sorgo certificada en un área de 21,000 hectáreas; sin embargo, existían algunos problemas que dificultaban la producción comercial de esta semilla, como, la presencia de esterilidad genética ambiental en las líneas A (hembras), diseminación de malezas de zacate Johnson, mal manejo y cuidado de los lotes de producción, dificultades en el aislamiento y falta de coincidencia en floración de los progenitores (Montes *et al.*, 2021).

En la producción de semilla híbrida de sorgo se utiliza el sistema de androesterilidad génico-citoplásmica, en el que intervienen tres tipos de líneas: A, B y R. Las líneas A y B son isogénicas, siendo la línea A androestéril y la línea B androfértil. La línea R restituye la fertilidad en la F1 de la crucea A x R (House, 1982). Para producción comercial de semilla de los híbridos simples se utilizan lotes aislados en los que se alternan surcos del progenitor femenino androestéril con surcos del progenitor masculino. La relación de surcos hembra y macho y consecuentemente, el rendimiento de semilla híbrida depende de varios factores como la capacidad de producción de polen de la línea macho, la sincronía floral, el tiempo de floración de ambos progenitores, el porte de las líneas, la dirección y la velocidad del viento, entre otros (Poehlman y Sleper, 2003).

En México, la disponibilidad de semilla de sorgo para siembra depende prácticamente de híbridos generados por compañías transnacionales principalmente

de origen estadounidense, mientras que la participación de compañías mexicanas es mínima, lo que indica que nuestro país es dependiente de este insumo (Flores *et al.*, 2013).

Por lo antes mencionado, se mencionan los objetivos e hipótesis del presente trabajo de investigación:

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Seleccionar híbridos experimentales de sorgo, mediante su comportamiento agronómico y potencial de rendimiento de grano.

1.1.2. Objetivos específicos

Evaluar la altura de planta, longitud de panícula, longitud de excursión incidencia de enfermedades foliares en etapa de madurez fisiológica final en híbridos de sorgo.

Evaluar la incidencia de daño por aves, peso de 1000 semillas, color del grano y rendimiento de grano en híbridos de sorgo.

1.2. Hipótesis

Ha: Existen diferencias entre híbridos de sorgo en el comportamiento agronómico y rendimiento de grano, lo cual permitirá seleccionar al menos un híbrido sobresaliente.

Ho. No existen diferencias, entre los híbridos de sorgo en su comportamiento agronómico y rendimiento de grano.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen y distribución del cultivo de sorgo

Desde el año de 1970, la búsqueda de los orígenes del sorgo domesticado en África sigue siendo difícil de encontrar a pesar de que el sorgo es uno de los cereales más importantes del mundo. Reconocido como originario de poblaciones silvestres en África (*Sorghum arundinaceum* (Desv.) Stapf). La fecha y el contexto cultural de su domesticación han sido controvertidos (Winchell *et al.* 2018).

La evidencia más temprana del uso de sorgo silvestre como alimento proviene del Sahara, alrededor del 7500 a. C., donde vivían cazadores-recolectores que hicieron uso de este (Venkateswaran *et al.*, 2019). De manera similar, Winchell *et al.*, (2018) en un estudio reciente ha demostrado que los primeros sorgos domesticados se encuentran en poblaciones neolíticas de Sudán alrededor del cuarto milenio antes de Cristo. Existe un debate con respecto al origen exacto y la ubicación de la domesticación del sorgo. Sin embargo, la evidencia arqueológica respalda la domesticación en el este de Sudán alrededor del año 3000 a.C. (Fuller y Stevens, 2018). A partir de su centro de origen, el sorgo se distribuyó por toda África, hasta China e India. En el trayecto, surgieron muchas razas distintas. En la actualidad el sorgo es un complejo morfológico extremadamente diverso. Esta diversidad, ha hecho difícil crear un sistema sencillo de clasificación taxonómica (Poehlman, 2005).

En África occidental y central, el sorgo se cultiva en la faja comprendida entre el desierto del Sáhara en el norte y los bosques ecuatoriales en el sur. En el África oriental y austral, se cultiva en regiones más áridas, en las que las precipitaciones demasiado escasas, no permiten cultivar bien el maíz. Nigeria y Sudán son los principales productores en África. En Asia, la producción está más concentrada en

China y la India. En la región de América Central y el Caribe, la producción está dominada por México y en América del Sur se concentra en Argentina y en las zonas áridas del Brasil, el norte de Colombia y Venezuela. En América del Norte se cultiva en las llanuras de las regiones centrales y meridionales de los Estados Unidos en regiones donde la lluvia es escasa y variable. Casi un tercio de la producción mundial de sorgo corresponde a los países desarrollados (FAO, 1997).

2.2. Producción de sorgo a nivel mundial

De acuerdo con el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) se estima que la producción mundial de sorgo 2023/2024 será de 61,02 millones de toneladas métricas. La producción de sorgo el año pasado fue de 54,87 millones de toneladas. Los 61,02 millones de toneladas estimados para este año podrían representar un aumento de 6,15 millones de toneladas o 11.21% en la producción de sorgo en todo el mundo. Los principales países productores de sorgo a nivel mundial durante 2023/2024 (Figura 1) fueron Estados Unidos con 9.1 millones de toneladas, Nigeria con 6.7 millones de toneladas, Sudan y México con 4.8 millones de toneladas, estimándose un total mundial de 61.02 millones de toneladas (USDA, 2023).

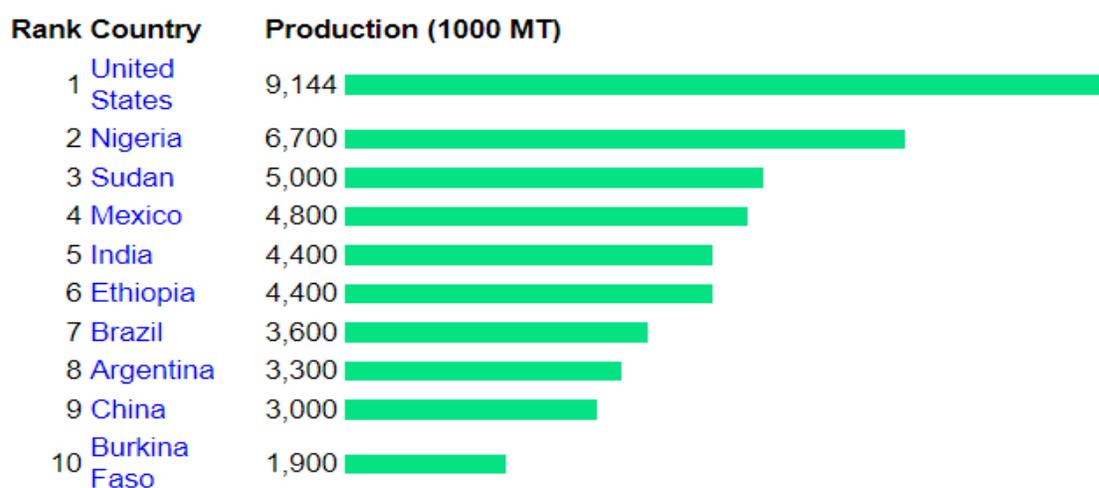


Figura 1. Principales países productores de sorgo en 2023/2024 (en miles de toneladas métricas).

Fuente: USDA, 2023.

2.3. Producción de sorgo en México

Con un aporte de 3.2% de la superficie cosechada con este grano a nivel mundial, México se ubica dentro de los principales países productores. La explotación de sorgo grano se realiza en todo el año agrícola, con las trillas más significativas en los meses de junio y julio para el ciclo agrícola primavera-verano; en noviembre y diciembre para el ciclo otoño-invierno.

Como lo menciona el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera en 2022, se cosecharon 4 millones 763 mil toneladas; 9.0% más que en 2021, no obstante, su tasa anual media de crecimiento en los 10 años anteriores ha sido negativa, 3.1% menor en promedio por año. Los estados que más aportan en la producción son Tamaulipas con 45.6%, seguido de Guanajuato con 18.4% y ubicándose en tercer lugar se encuentra Sinaloa con 7.6% de la producción total nacional (SIAP, 2023). Como se puede observar en el Cuadro 1, a pesar de que Tamaulipas es el mayor productor, su rendimiento es menor en comparación al estado de Morelos quien con 5.94 t ha⁻¹ se posiciona como el estado con mayor rendimiento promedio a nivel nacional.

Cuadro 1. Principales estados productores de sorgo en México en el año 2022.

Entidad	Superficie Sembrada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
Tamaulipas	767,920	753,762	2,170,903	2.88
Guanajuato	161,119	161,119	878,655	5.45
Sinaloa	104,528	104,528	363,663	3.48
Michoacán	74,361	74,361	345,173	4.64
Nayarit	38,425	38,425	192,456	5.01
Morelos	30,576	30,576	181,717	5.94
Jalisco	26,818	26,818	151,283	5.64
Puebla	19,446	19,421	85,864	4.42
Oaxaca	21,401	21,401	66,415	3.10
San Luis Potosí	32,798	32,242	58,806	1.82
Total nacional	1,367,770	1,350,511	4,762,961	3.53

Fuente: SIAP, 2023.

2.4. Importancia del sorgo

El cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) es el quinto cereal más importante en el mundo después del trigo, maíz, arroz y cebada (FAO, 2011). A nivel mundial existe una alta demanda de sorgo, siendo China el principal importador de este grano provocando que de cada 100 toneladas que se exportaron en el mundo, más del 90% las importa China (Panorama Agroalimentario, 2023).

El sorgo es uno de los granos más importantes en nuestro país, ya que es una de las principales fuentes de materia prima en la elaboración de alimentos balanceados para aves, bovinos y porcinos, entre otros, los que a su vez constituyen la principal fuente de proteínas para el consumo humano. Este grano presenta una alta volatilidad en el precio, debido a la influencia de diferentes factores, como el clima, plagas, enfermedades y las variables macroeconómicas, como el tipo de cambio. Su precio además está fuertemente vinculado al del maíz amarillo, que es su sustituto, y ambos se vinculan a las cotizaciones internacionales, que tienen importancia debido a nuestra dependencia en las importaciones para satisfacer la demanda interna (Financiera Rural, 2011).

De acuerdo con Taylor *et al.*, (2006) es el mejor cereal en términos de resistencia a la sequía, lo cual lo convierte en una de las principales y mejores alternativas para la producción de alimento en un mundo donde la escasez de agua es un problema muy frecuente. El sorgo es uno de los alimentos básicos para la población más pobre del mundo, que al mismo tiempo es la que presenta una mayor inseguridad alimentaria. Desde el punto de vista genético, este cultivo se adapta bien a un entorno agroecológico cálido y seco en el que resulta difícil cultivar otros cereales alimentarios convirtiéndolo en un cultivo indispensable para dichas zonas (FAO, 1997).

Este grano se utiliza en su mayoría para la elaboración de alimentos balanceados para animales y para elaborar harinas para la fabricación de galletas y pan para consumo humano. En 2022, se cosecharon 4 millones 763 mil toneladas; 9.0% más que en 2021, no obstante, su tasa anual media de crecimiento en los 10 años anteriores ha sido negativa, 3.1% menor en promedio por año (Panorama Agroalimentario, 2023).

2.5. Clasificación taxonómica

Según el United States Department of Agriculture (USDA), el sorgo presenta la siguiente clasificación taxonómica:

Reino: *Plantae*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Liliopsida*

Subclase: *Commelinidae*

Orden: *Cyperales*

Familia: *Poaceae*

Género: *Sorghum*

Especie: *Sorghum bicolor* (L.)
Moench

2.6. Morfología de la planta

Raíz. El sistema radicular es abundante y muy desarrollado, puede alcanzar profundidades hasta 1 .50 m, lo cual le permite extraer agua y nutrientes de capas más profundas, por esto se adapta a tierras áridas (Parra y Escobar, 1990). Las raíces primarias y seminales son temporales y eventualmente mueren a medida que su función es asumida por raíces adventicias (Hermsen, 2022). El sistema radical adventicio fibroso se desarrolla de los nudos más bajos del tallo con 80% de las raíces en los primeros 30 centímetros. El número de pelos absorbentes puede ser el doble en comparación con el maíz, las raíces de soporte pueden crecer de brotes

radicales, pero no son efectivas para la absorción de agua o nutrientes (CENTA, 2018).

Tallo. Presenta un solo tallo formado por una serie de nudos y entrenudos, puede desarrollar otros brotes dependiendo del genotipo y el ambiente, su longitud varía de 0.5 a 4 metros, con un diámetro de entre 0.5 a 5 cm cerca de la base, volviéndose más angosto en el extremo superior; su consistencia es sólida en comparación a otras gramíneas presentando una corteza o tejido exterior duro y una médula suave. Los tallos tienen de 7 a 24 nudos y son erectos (CENTA, 2018). Generalmente son resistentes, recubiertos de una cera de color blanquecino denominado pruina. De acuerdo con la longitud del tallo los sorgos se pueden clasificar en bajos, medianos y altos (Parra y Escobar, 1990).

Hojas. El número de hojas varía de 7 a 24 según la variedad y el período de longitud de crecimiento, pero el número de hojas activas por planta oscila entre 6 y 10, son erectas hasta casi horizontales y se encorvan con la edad. La hoja madura presenta una longitud de entre 30 a 135 cm y un ancho de 5 a 15 cm; son alternas y lanceoladas, con una superficie lisa y cerosa (CENTA, 2018). Como menciona Hermsen (2022), cada hoja consta de una vaina que envuelve el tallo y una lámina foliar alargada que sobresale del costado del tallo e intercepta la luz del sol. Sus principales nervaduras son paralelas. Las hojas carecen de aurículas, pero tienen lígulas y la última hoja del follaje del tallo que se encuentra directamente debajo de la inflorescencia se llama hoja bandera.

Inflorescencia. La inflorescencia del sorgo es una panícula, la cual es un tallo central y ramas laterales. Presenta un raquis central completamente escondido por la densidad de sus ramas o totalmente expuesto. Una característica importante de considerar es la longitud de la excursión ya que de ella depende en cierta medida la facilidad de la cosecha mecanizada y la tolerancia de plagas y enfermedades (CENTA, 2018). La longitud de la excursión varía de 0 a 30 cm, además la panícula se puede clasificar en cerrada, semiabierta o abierta con un largo entre los 20-35 cm y de 400 a 1000 granos según el tipo de panícula y la variedad. Presentan flores hermafroditas y su polen pierde viabilidad rápidamente (Parra y Escobar, 1990).

Semilla. Del tipo cariósida y de un tamaño muy variable, las semillas de sorgo miden en promedio 3 mm, son esféricas y oblongas de color negro, rojizo, amarillento, crema o blanco. Entre sus propiedades nutricionales cuenta con azúcares de lenta absorción, de alta calidad y con bajo contenido graso (Panorama Agroalimentario, 2023). Un grano de sorgo consta de un embrión y un endospermo, que sirve como alimento para el embrión una vez que comienza a convertirse en una plántula. El embrión y el endospermo están rodeados por un pericarpio delgado (Hermsen, 2022).

2.7. Etapas fenológicas

Para Rao *et al.*, (2004), la caracterización de las etapas fenológicas y su duración ayuda a mejorar las prácticas de manejo de cultivos, especialmente el momento de la aplicación de riego y fertilizantes por parte de los agricultores y productores de semillas. El crecimiento y desarrollo del sorgo se divide en nueve etapas fenológicas que a continuación se describen.

Etapas 0: Emergencia

Se presenta cuando la planta emerge sobre la superficie del suelo teniendo una duración de 4 a 7 días después de la siembra (Figura 2a). Existen varios factores que influyen en la emergencia; una humedad de suelo menor a 75% de la capacidad de campo en los primeros 15 cm da como resultado una emergencia desigual o deficiente. La temperatura es otro factor, siendo la óptima para una buena emergencia de 18 a 20°C.

Etapas 1: Etapa de tres hojas

La plántula tiene tres hojas completas con el collar de la tercera hoja claramente visible (Figura 2a). Esto demora aproximadamente 6 días después de la emergencia. El crecimiento de las plántulas durante esta etapa depende principalmente de la temperatura y en condiciones óptimas puede alcanzar entre 15 y 20 cm de altura.

Etapa 2: Etapa de cinco hojas

Se caracteriza por la aparición de la lígula visible en la quinta hoja, la cual es larga con punta puntiaguda a diferencia de la primera hoja con punta redonda (Figura 2a). Para llegar a esta etapa se requieren de aproximadamente 16 días desde que emerge y crece entre 40 y 50 cm de altura. Las plántulas entran en el período de crecimiento a partir de esta etapa, además el sistema radicular se desarrolla rápidamente y si las condiciones son favorables la materia seca se acumula a un ritmo constante.

Etapa 3: Etapa de iniciación de la panícula

A los 32 días después de la emergencia, el punto de crecimiento se transforma de la fase vegetativa a la fase reproductiva (Figura 2a). La planta crece hasta una altura de 85-100 cm. Durante esta etapa, la planta tiene entre 8 y 9 hojas, su número potencial de hojas se define, la segunda y tercer hojas basales pueden volverse senescentes además se alcanzan las tasas máximas de crecimiento y absorción de nutrientes.

Etapa 4: Hoja bandera visible

Se llega a esta etapa transcurridos alrededor de 50 días desde la emergencia, se puede identificar observando la aparición de la punta de la hoja bandera en el verticilo (Figura 2a). Las plantas muestran un rápido alargamiento de hojas y tallo. De la tercera a la quinta hoja basal se perderán debido a la senescencia. La planta crece hasta una altura de 115-120 cm. La panícula crece rápidamente dentro del verticilo y además se determina el número de semillas.

Etapa 5: Emergencia de la panícula

Se necesitan de aproximadamente 60 días desde la emergencia de la semilla. La panícula completa su desarrollo y la planta alcanza su máxima área foliar,

además de tener una altura de 125-130 cm, se determina el tamaño potencial de la panícula (Figura 2b). El último entrenudo y el pedúnculo comienzan a alargarse. Durante esta etapa la planta experimenta una alta demanda de agua.

Etapa 6: 50% de floración

Después de 68 días desde la emergencia u ocho días desde la etapa 5, el 50% de las anteras en el 50% de las plantas en el campo indican un 50% de floración (Figura 2b). La planta crece hasta una altura de 150-160 cm. La duración de la floración suele ser de 4 a 9 días, dependiendo de la variedad. En esta etapa, la planta acumula aproximadamente la mitad del peso seco total.

Etapa 7: Grano pastoso

Después de la floración, el desarrollo de las semillas avanza desde la etapa lechosa hasta la etapa de masa blanda (Figura 2b). Suelen transcurrir unos 80 días desde la emergencia de la semilla o 12 días desde el 50% de floración. Esta etapa señala el final del alargamiento del tallo. Aproximadamente el 50% del peso del grano se acumula en esta etapa. Por lo general, la planta tiene entre 8 y 10 hojas funcionales pudiendo variar según el genotipo. En cuanto a altura, la planta alcanza unos 170 cm, dependiendo del genotipo.

Etapa 8: Grano duro

Durante esta etapa, el grano es duro y no se puede aplanar presionando entre los dedos. Se necesitan unos 96 días desde la emergencia (Figura 2b). Si la planta presenta un estrés severo por sequía y pudrición carbonosa del tallo, pueden provocar acame o un llenado incompleto de las semillas. El clima nublado con lluvias prolongadas durante esta etapa provoca decoloración y pérdida de peso del grano.

Etapa 9: Madurez fisiológica

Se identifica cuando aparece una mancha negra oscura en la porción basal de la semilla cuya aparición señala el final del suministro de fotosintatos a la semilla (Figura 2b). La madurez fisiológica generalmente ocurre en 106 días desde la emergencia de la semilla. El contenido de humedad del grano en esta etapa varía entre 25% a 35%, además de que ha ganado el máximo peso seco. El período de floración hasta la madurez fisiológica varía según el cultivar y las condiciones ambientales demorando entre 38 y 45 días entre los cultivares o híbridos comerciales.

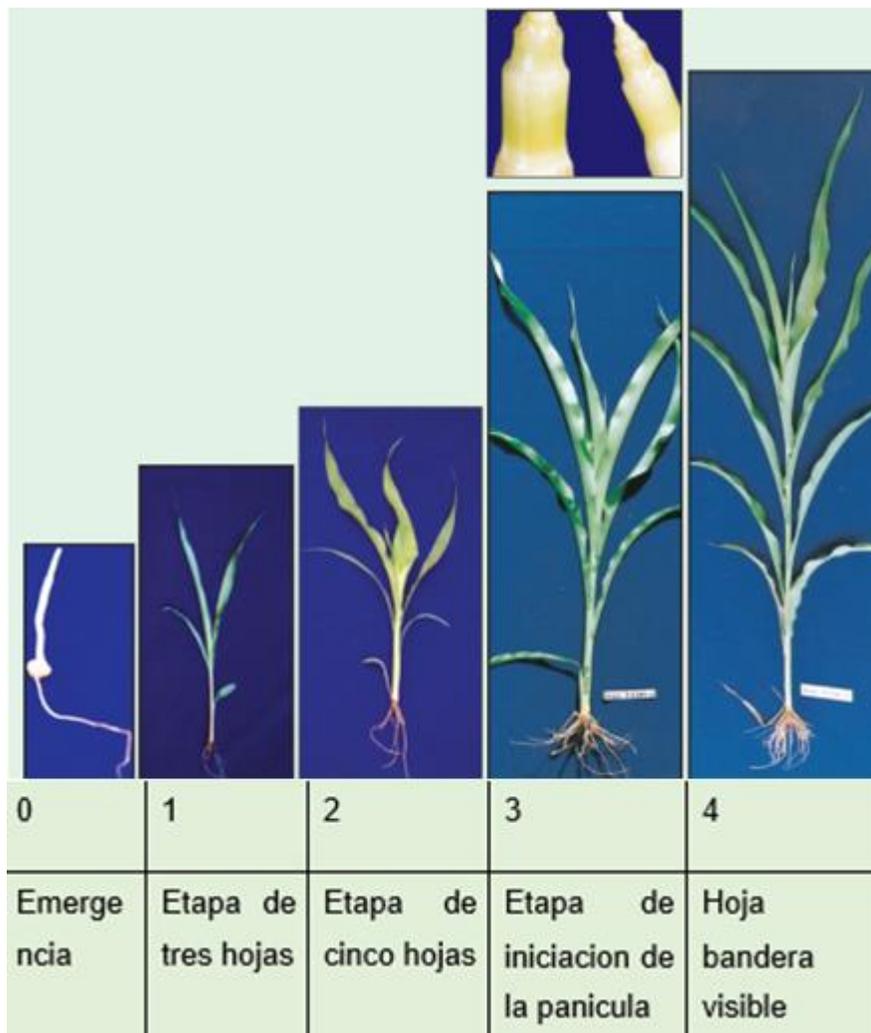


Figura 2a. Etapas fenológicas 0-4 del sorgo.

Fuente: Rao *et al.*, 2004.

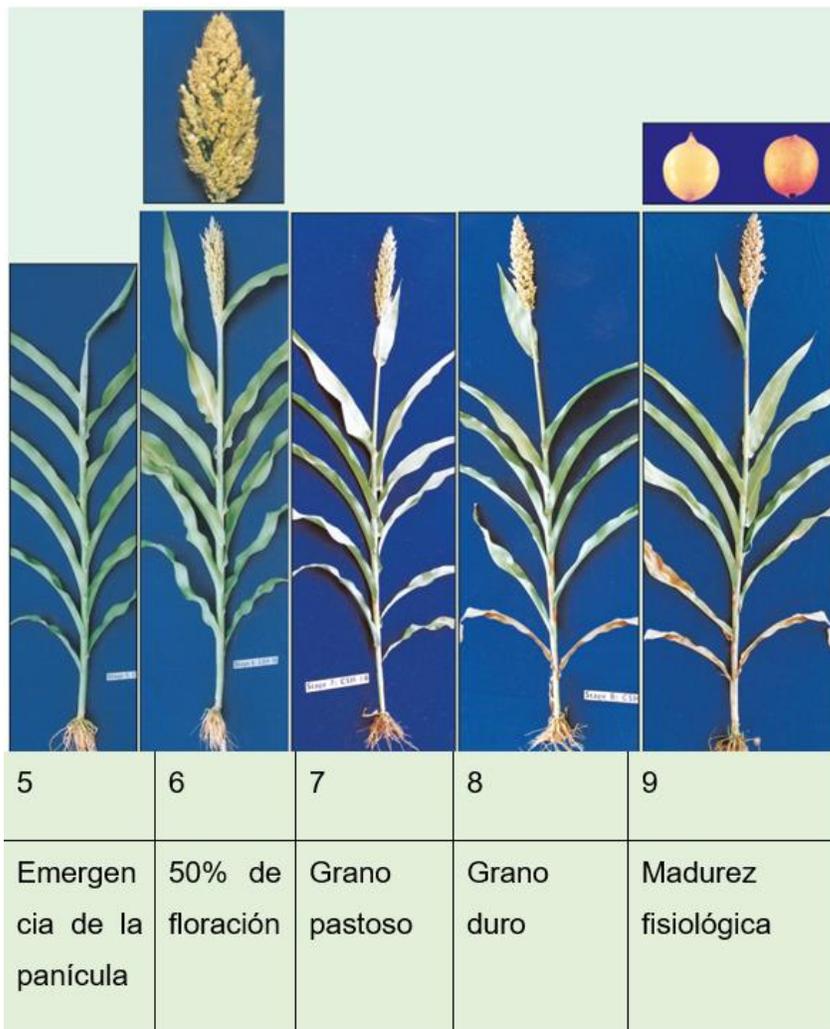


Figura 2b. Etapas fenológicas 5-9 del sorgo.

Fuente: Rao *et al.*, 2004.

2.8. Líneas A, B y R de sorgo

Los híbridos de sorgo implican la producción de semillas A x R y se llevan a cabo de acuerdo con los estándares prescritos de producción y procesamiento en términos de distancia de aislamiento, pureza genética y calidad de la semilla (Gupta, 1999). Aunque en realidad se requieren de tres tipos de líneas, una línea B isogénica a la línea A y una línea R restauradora de la androfertilidad. Para Williams *et al* (1988), las líneas presentan las siguientes características:

Línea A: línea androestéril; su producción de polen esta atrofiada. Usualmente se le conoce como línea hembra, destinada para la producción de semilla.

Línea B: esta línea es la encargada de mantener la esterilidad, es capaz de producir polen, pero el citoplasma es estéril. Esta línea es agronómicamente idéntica a la línea A y se utiliza en la producción de semilla como fuente de polen para la línea A, cuya descendencia se mantendrá estéril.

Línea R. la línea restauradora de sorgo tiene floretes bisexuales autofértiles y es pura. Por lo tanto, se puede multiplicar con facilidad, comúnmente se le conoce como macho en la producción de semilla híbrida.

Como menciona Gupta (1999), los posibles progenitores masculinos y femeninos para la producción de semilla híbrida se identifican cruzando plantas androfértiles (endogamias, variedades, líneas reproductoras en generaciones avanzadas) con una línea androestéril (línea A) y observando sus híbridos correspondientes en pequeñas parcelas de un vivero de observación. Algunas plantas de cada cruce se someten a una prueba de embolsado, es decir, se cubren algunas panículas con bolsas de papel, previo a la antesis y se observa la formación de semillas debajo de la bolsa después de unas semanas. Una panícula fértil bisexual normal exhibiría casi el 100% de semillas.

La producción a gran escala de líneas androesteriles (A) se lleva a cabo haciendo crecer la línea A y su correspondiente mantenedor, la línea B, juntos en una parcela aislada. La distancia de aislamiento requerida para los campos de producción A x B es de al menos 1 km. Se mantiene una proporción de 4 hileras A: 2B o 6 A: 2B y los bordes del campo se siembran con la línea B. La línea androestéril (A) y su mantenedor (B) deben presentar buena sincronía floral. El polen producido por la línea B fertiliza las plantas androestériles (A) y la semilla producida da lugar nuevamente a la línea A androestéril (Gupta, 1999).

2.9. Producción de semilla híbrida de sorgo

Para el desarrollo de híbridos de sorgo es necesaria la evaluación del comportamiento individual de las líneas, así como el de su actitud combinatoria general (ACG) y actitud combinatoria específica (ACE) (Poehlman, 2005). La línea R es capaz de restaurar la fertilidad en la crucea A x R, en donde estas líneas se seleccionan por su alta capacidad para producir una progenie híbrida que presente un aceptable vigor para rendimiento de grano. El híbrido de sorgo explota la heterosis de la crucea de una línea A androestéril con una línea R fértil restauradora de la fertilidad masculina. La floración del híbrido de sorgo es más semejante a la del progenitor hembra (Mendoza, 1983); mientras que la calidad, rendimiento, peso y número de semillas son más similares a las presentadas por el progenitor macho (Cisneros-López *et al.*, 2007).

El descubrimiento de la androesterilidad genética citoplásmica por Stephens y Holland en 1954, hizo posible la producción comercial de semilla híbrida. Los primeros híbridos desarrollados en Estados Unidos se empezaron a utilizar en México a partir de 1958 (Williams *et al.*, 2006). A la fecha, casi el 100% del sorgo cultivado es de semilla híbrida, donde se aprovecha su mayor potencial de producción (Flores-Naveda *et al.*, 2013).

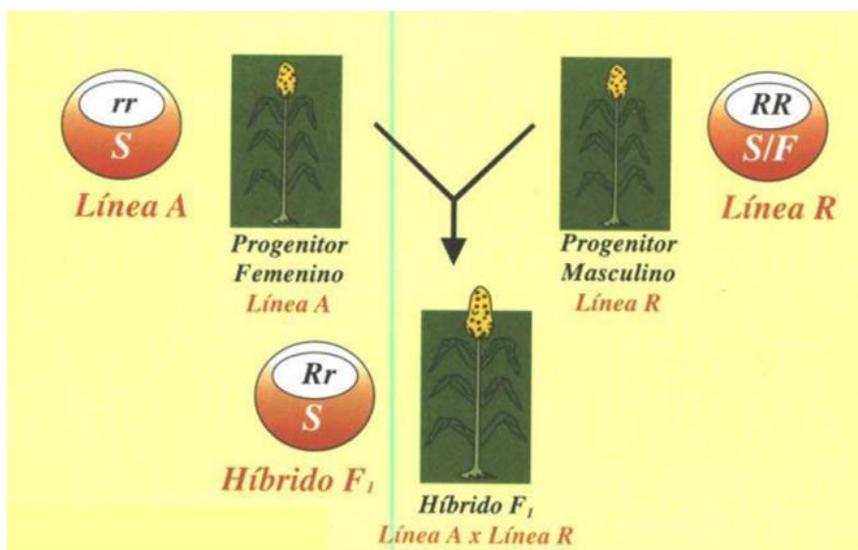


Figura 3. Producción de semilla híbrida de sorgo.
Fuente: Clará y D'Croz-Mason, 2008.

Las líneas androestériles (A) y restauradoras (R) se siembran en surcos alternos de hileras, normalmente en una proporción de 4 A: 2 R o 6 A: 2 R, dependiendo de la experiencia local de éxito y la capacidad de la línea R para dispersar el polen. Los bordes en los cuatro lados del campo de producción de semilla híbrida se siembran con líneas restauradoras para asegurar un suministro adecuado de polen y proteger contra de la contaminación por fuentes de polen extraño (Gupta, 1999).

Para la producción de semilla híbrida de sorgo es esencial que las líneas parentales seleccionadas, florezcan al mismo tiempo, es decir, que el polen viable esté disponible cuando los estigmas sean receptivos. Por lo tanto, es importante un conocimiento previo de los patrones y días a floración de ambos progenitores, una diferencia de 4 a 5 días en la floración, entre los dos progenitores podría afectar la producción de semillas en la línea androestéril. Si los parentales difieren en sus días al 50% de floración por más de 3 días, se recomienda escalonar las fechas de siembra, mediante un split (Gupta, 1999).

Lo ideal es que la línea R sea más alta que la línea A, ya que el polen se dispersa predominantemente hacia abajo, y esto debe tenerse en cuenta al realizar combinaciones híbridas experimentales. Además, si se conoce la dirección común del viento durante la temporada de producción de semilla, las hileras de las parcelas de producción de semillas deben sembrarse perpendiculares a la dirección del viento. En experimentos, cuando la sincronía de la floración es deficiente, se podría adoptar la polinización masiva a mano usando bolsas de papel (Gupta, 1999).

Según Gupta, (1999) menciona que se deben tomar todas las precauciones posibles contra la contaminación de las semillas durante la cosecha de parcelas de producción de semillas híbridas y la trilla de panículas de las hileras de la línea A. Por lo general, la línea R se cosecha primero y la cosecha se retira del campo. Posteriormente, las hileras de la línea A se inspeccionan cuidadosamente en busca de especies fuera de tipo y otras mezclas y luego se cosechan. El rendimiento de semillas híbridas depende del potencial de rendimiento de la línea A.

Después de la cosecha de la semilla híbrida, por lo general, no se permite reutilizar la semilla de la línea R como semilla para la producción de semillas híbridas (A x R) en la próxima temporada, sino que se vende como grano (Gupta, 1999).

2.10. Regla para la calificación de semilla de sorgo

El Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) en 2018 dio a conocer las normativas y lineamientos a tener en cuenta para la producción de semilla híbrida de sorgo en sus diversas categorías.

Categorías y equivalencias

Equivalencias de categorías de semilla calificada (Cuadro 2), de acuerdo con los esquemas de certificación de México, la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) y la Asociación de Agencias Oficiales de Certificación de Semillas (AOSCA).

Cuadro 2. Categorías y equivalencias.

México	OCDE	AOSCA
Básica	Pre-basic Seed	Foundation
Registrada	Basic Seed	Registered
Certificada	Certified Seed	Certified

Unidad de inscripción

El sorgo no deberá sembrarse en terrenos donde, el año anterior, hayan sido sembrados con una variedad o categoría diferente, a menos que se haya cultivado la misma variedad y categoría y se haya recibido la aprobación de certificación por parte del SNICS. El sorgo no deberá sembrarse en terrenos donde, el año anterior, hayan sido sembrados con zacate Sudán (*Sorghum x drummondii* (Steud.) Millsp. & Chase) o con otra clase de sorgo. Al momento de la siembra, no deberá presentar zacate Johnson (*Sorghum halepense*).

Aislamiento

Para el SNICS, el aislamiento es por distancia (Cuadro 3). Deben aplicarse los aislamientos mínimos para cada categoría de semilla y tipo de híbrido sembrado.

Cuadro 3. Distancia de aislamiento.

Cultivo	Tipo	Distancia mínima en metros por categoría de semilla		
		Básica	Certificada	Habilitada
Sorgo	Grano	1000	300	300
	Forrajeo	2000	500	500
	Escobero	5000	5000	5000
Zacate	Johnson	1000	400	400
	Sudan	1000	600	600

Número de inspecciones

Los lotes para la producción de semilla básica o de híbridos comerciales deben inspeccionarse principalmente:

- a) En floración. Al inicio y en floración completa, sin previo aviso al productor de la semilla.
- b) Antes de la cosecha. Después de que la semilla, ha adquirido el color característico de la madurez, y posterior a que el interesado indique al SNICS de que en lote está listo para la inspección final.

Tolerancias en campo

Tanto el progenitor femenino como el masculino deben de reunir los siguientes requerimientos de campo:

Cuadro 4. Tolerancias en campo.

Factor	Categoría de semilla			
	Básica	Registrada	Certificada	Habilitada
Plantas de otros cultivos	0	0	0	0
Plantas de maleza	0	0	0	0
Panojas de otras variedades	1 en 50,000	1 en 50,000	1 en 50,000	1 en 20,000
Panojas de tipo dudoso	1 en 20,000	1 en 20,000	1 en 20,000	1 en 1,000
Granos con tizón (<i>Fusarium moniliforme</i>)	0	0	0	1 en 2,500

Criterios y especificaciones de laboratorio

Los estándares por cumplir en el análisis de laboratorio (Cuadro 5) para que pueda ser otorgado el certificado de semilla calificada varían de acuerdo con las categorías de semillas. A partir de la muestra de trabajo se determinará el porcentaje de semilla pura y semillas no pertenecientes a la variedad, así como los estándares de germinación y contenido de humedad.

Cuadro 5. Criterios y especificaciones de laboratorio.

Factor	Categoría de semilla		
	Básica	Certificada	Habilitada
Semilla pura (mínimo %)	99	97	95
Materia inerte (máximo %)	1	3	5
Semilla de otros cultivos (máximo)	0	7 en 10,000	10 en 10,000
Semillas de otras variedades (máximo)	0	1 en 10,000	10 en 10,000
Semillas de maleza nociva (Máximo)	0	0	0
Semillas de malezas comunes (máximo)	0	1 en 10,000	5 en 10,000
Germinación (mínimo %)	80	80	78
Humedad (máximo %)	13	13	13

En el caso de la categoría Declarada, es obligatorio anexar a la etiqueta, el contenido de semillas del envase o bolsa y deberá indicar la fecha del último análisis de germinación. Los estándares de calidad correspondientes a esta categoría deben ser equivalentes a los establecidos en cuanto a la categoría certificada. Asimismo, se debe de considerar que no es posible comprobar la calidad genética con ningún tipo de certificado.

2.11. Principales plagas en sorgo

Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*)

Es la plaga de mayor incidencia, en las primeras etapas fenológicas del cultivo se alimenta de las partes tiernas de las hojas. En la etapa reproductiva daña la panícula antes que emerja, y después de la emergencia de ésta se alimenta del grano en desarrollo. Además, puede actuar como cortador y barrenador. Las larvas del cogollero en las primeras fases de vida son de color verdoso y cabeza negra (CENTA, 2018). Su ciclo de vida dura aproximadamente 30 días durante el verano, 60 días en primavera y otoño y de 80 a 90 días en invierno debido a las condiciones de temperatura. La larva, quien es la que ocasiona el daño al cultivo pasa por seis instares o tamaños en un periodo de 14-30 días (CESAVEG, 2016).

Se recomienda muestrear el cultivo desde que emerge hasta los primeros 60 días, etapa en la cual se encuentra susceptible al ataque de esta plaga, el control debe iniciarse cuando la planta presente 35% -40% de daño fresco en la parte del cogollo o cuando de cada 100 plantas, 20 presenten daño por el gusano. Al atacar la larva en los primeros 3 instares su control es más efectivo debido a que es menos resistente y no ha formado un tapón de excremento en el cogollo que evita el contacto con los plaguicidas (CESAVEG, 2016).

Gusano soldado (*Spodoptera exigua*), (*Mythimna unipuncta*)

Es una de las plagas más agresivas para el sorgo por su tasa de consumo, ya que puede defoliar completamente al cultivo. Las larvas de todos los instares causan daños, se alimentan del follaje, inflorescencias y frutos. Existen diferencias importantes entre estas dos especies de gusano soldado, sin embargo, ambas presentan metamorfosis completa, es decir, pasan por los estados biológicos de huevo, larva, pupa y adulto (DGSV-CNRF. 2020, a). Los huevecillos pueden ser depositados en masas según la especie, entre las hojas enrolladas (*M. unipuncta*), o bien debajo de ellas (*S. exigua*). Las larvas son de color verde claro (*M. unipuncta*) a café obscuras y verde militar (*S. exigua*). Es una plaga de hábitos nocturnos y gregarios, generalmente se encuentran más de dos gusanos por planta. El gusano soldado se alimenta de las hojas inferiores y avanza a las superiores. Debido a que comen por la noche, pueden causar daños severos antes de ser detectadas (CESAVEG, 2016).

Se recomienda muestrear el cultivo de manera constante ya que esta larva no tiene una etapa específica para atacar, sin embargo, si su incidencia es en etapas tempranas del sorgo el daño es mayor. El muestreo debe ser en toda la parcela, revisando las esquinas y el centro del cultivo (cinco de oros), revisando al menos 100 plantas y al encontrar 20 plantas con presencia o daño del gusano se recomienda implementar la acción de control, Las larvas de gusano soldado son susceptibles a diferentes ingredientes activos entre los que se encuentran: Lambda cialotrina 6.5%, Carbaril 80%, Clorpirifós etil (32 %) + permetrina (4.5 %), Gamma cialotrina 5.9 %, entre otros (DGSV-DCNRF, 2019).

Mosca midge (*Contarinia sorghicola*)

La mosquita del sorgo es probablemente la más ampliamente distribuida entre todas las plagas del sorgo a nivel mundial. Se encuentra en prácticamente todas las regiones del mundo donde se siembra este cultivo. Un alto número de mosquitas puede destruir cultivos susceptibles. En todo el mundo, se estima que

destruye alrededor del 10-15% del sorgo cultivado, aunque su daño puede ocasionar pérdidas del 100%. En México es la plaga de mayor importancia del cultivo de sorgo, se presenta en las principales regiones productoras de este cultivo, lo mismo en el norte que en la zona del Golfo de México, del Océano Pacífico, la parte Central y el Sureste de la República Mexicana (DGSV-CNRF. 2020). La hembra deposita sus huevos (alrededor de 100 huevos por mosca) en las espiguillas en floración, al nacer la larva no tiene color, pero al irse alimentando de los ovarios del grano en formación se tornan de color rojizo, causando granos vanos o su desarrollo anormal y por consiguiente una mala panícula (CENTA, 2018).

Se recomienda muestrear el cultivo durante la floración, cubriendo las panojas con una bolsa de plástico y sacudiéndolas para contar las mosquitas atrapadas. Si se llegan a encontrar en promedio 2 moscas de 30 panojas revisadas, se recomienda realizar control químico. Para el control de la mosca midge se pueden utilizar cualquiera de los insecticidas autorizados en el cultivo de sorgo, los cuales presentan buena efectividad. Se sugiere utilizar cualquiera de los siguientes insecticidas Imidacloprid o Clorpirifos etil, los cuales presentan mayor efectividad y residualidad y por lo tanto menor porcentaje de daño en la panoja. Generalmente bastará una aplicación por temporada (Garza, 2014).

Pulgón amarillo (*Melanaphis sacchari*)

El origen de esta especie se localiza en África y actualmente se distribuye en diversos países de Asia, Australia, el Caribe, Centro y Sudamérica. Se desconoce cómo llegó al noreste de México. Simultáneamente, el pulgón amarillo se reportó en los estados de Texas, Louisiana y Mississippi, E.U.A., causando también pérdidas importantes en sorgo. El pulgón amarillo mide 2 mm de largo en estado adulto. Tiene dos apéndices en la parte posterior del abdomen llamadas sifúnculos de color negro. Los pulgones son de color amarillo durante la mayor parte de su vida, pero los adultos en ocasiones se tornan pardos o grisáceos. La mayor parte del año no tienen alas, pero en condiciones de escasez de alimento o de clima adverso, desarrollan

alas para emigrar (Maya y Rodríguez, 2013). El daño puede iniciar desde los ocho días de emergido hasta la madurez fisiológica del cultivo, succionan la savia en las hojas, las que se tornan rojizas a causa de las lesiones además de provocar de manera indirecta fumagina, un hongo asociado a la mielecilla que excretan los pulgones, lo que en conjunto reducen la fotosíntesis; y en casos extremos, se favorece la transmisión de enfermedades virales (CENTA, 2018).

El pulgón amarillo se muestrea desde la emergencia, hasta la madurez fisiológica del cultivo, por lo tanto, se deben de realizar inspecciones semanales en los márgenes y el centro de la parcela revisando particularmente el envés de las hojas, ya que allí se localiza la mayoría de los pulgones. El uso de trampas amarillas pegajosas en las orillas del cultivo ayuda a detectar el arribo de las poblaciones. Existen varios métodos de control, como tratar la semilla con insecticidas sistémicos aplicados a la semilla, protege las plántulas de insectos chupadores durante los primeros 30 días después de la emergencia. Las recomendaciones en otros países sugieren aplicar el control químico con un promedio de 50 pulgones por planta, aunque hay que tomar en cuenta el desarrollo y vigor del cultivo, condiciones del clima y presencia de fauna benéfica (Maya y Rodríguez, 2014).

2.12. Principales enfermedades en sorgo

Roya del sorgo (*Puccinia purpurea*)

Es una de las principales enfermedades con mayor incidencia y severidad que se presenta en los sorgos, especialmente en los criollos. Los sorgos mejorados son afectados con menor incidencia, ya que se les ha incorporado resistencia a través del mejoramiento genético. Esta enfermedad aparece cuando inicia la maduración del grano hasta las últimas etapas del cultivo de sorgo, incrementando la severidad del daño en variedades susceptibles, haciendo inservible el follaje para la alimentación del ganado (CENTA, 2018). Se identifica por la aparición de manchas purpura, rojas o castañas, esparcidas en el haz y envés de las hojas. El color es variable según el grado de pigmentación de las variedades de sorgo hospedantes. Pústulas pequeñas,

aisladas o confluentes, conteniendo masas pulverulentas de uredósporas color rojo-anaranjado, de 1-3 mm largo por 0.5-2 mm de ancho. como medida de prevención se recomienda evitar el uso de cultivares susceptibles, la excesiva fertilización nitrogenada y la alta densidad de plantas (Herbario Virtual, 2024).

La roya del sorgo se puede manejar por el control genético (uso de variedades resistentes), químico (uso de fungicidas sintéticas) y biológico (uso de parásitos y extractos de plantas), en cuanto al control químico, la aplicación del fungicida Azoxistrobina (20%) + Cyproconazol (8%) puede reducir significativamente la severidad de la roya del sorgo, bajo condiciones de campo e infecciones naturales con niveles de 10% de severidad de la enfermedad (Lavilla *et al.*, 2016).

Ergot (*Claviceps africana*)

Esta enfermedad es causada por el hongo *Claviceps africana* Frederickson, Mantle & de Milliano, la cual se ha extendido rápidamente en las principales áreas productoras de sorgo. El ergot del sorgo es una enfermedad que afecta principalmente la producción de semilla híbrida, ya que las líneas androestériles son altamente susceptibles. En nuestro país, las mermas han llegado en algunos casos hasta el 100%. En adición a las pérdidas de semilla por la infección de las flores, la mielecilla que se encuentra cubriendo las panojas infectadas dificulta la trilla y reduce la calidad del grano. El principal problema por resolver es evitar la presencia de la enfermedad para que la semilla no se contamine y sea una fuente de inóculo, el cual podría ser introducido a zonas donde la enfermedad no se ha presentado aún.

El control químico del ergot se basa en el aspecto de prevención de la enfermedad, por medio de aspersiones de fungicidas antes de la exposición de los estigmas durante la floración. Un total de 100 mL ha de Tilt®, 3.6E (Syngenta) y 105 mL ha de Folicur®, 3.6E (Bayer AG) son requeridos para controlar el ergot. Mientras tanto, puede controlarse con solo 36 g ha de Bayleton®, 50DF (BayerAG) o con 56 g ha de Actigard®, 50 WG-A (Syngenta). Estos fungicidas deben disolverse en 140 L de agua para aplicación terrestre dirigida a las panojas del sorgo. Se sugiere aplicar

este control químico en áreas dedicadas a la producción de semilla, siguiendo el paquete tecnológico de prácticas agronómicas recomendado en cada área realizando aplicaciones al inicio de la floración y preferentemente una segunda aplicación de fungicidas a los 4 días después de la primera debido a que la floración no es uniforme en los genotipos de sorgo.

Antracnosis y pudrición roja (*Colletotrichum graminicola*)

Este hongo causa dos enfermedades, la antracnosis o mancha foliar y la otra llamada pudrición roja o pudrición del tallo. El ataque de antracnosis inicia sobre las hojas en forma de pequeñas manchas circulares o elípticas de un color castaño claro y bordes anchos de color púrpura rojo o canela dependiendo de la variedad, bajo condiciones favorables esta enfermedad destruye grandes porciones de la hoja lo cual afecta la capacidad fotosintética de la planta (Parra y Escobar, 1990; Garza *et al.*, 2003).

La pudrición roja puede ocurrir en los tallos y en la inflorescencia; en estas últimas, el daño se caracteriza por el desarrollo de lesiones circulares y en el tallo por una coloración que se observa al ser cortados longitudinalmente, la cual puede ser continua o discontinua sobre una gran área, dándole al tallo una apariencia moteada (Garza *et al.*, 2003).

De todos los métodos de control para antracnosis de sorgo, el más satisfactorio y seguro, sin incrementar costos, es el uso de genotipos resistentes. Las prácticas culturales se deben incluir para evitar el desarrollo de la enfermedad; la eliminación de malezas susceptibles, la buena preparación del suelo y la rotación con cultivos no susceptibles al hongo para reducir la inoculación primaria y prevenir las infecciones tempranas y severas. Si se requiere control químico por utilizar materiales susceptibles, los fungicidas recomendables para el control de la antracnosis son Propineb + Triadimenol y Carbendacin-Mancozeb, aplicados a los 55 y 65 días después de emergida la planta (Nieto, 1989).

Mildiu velloso (*Peronosclerospora sorghi*)

Esta enfermedad aparece en el sorgo desde el inicio del ciclo vegetativo. Sin embargo, en los últimos años se ha incrementado su presencia, ya que los genotipos que han presentado resistencia a la enfermedad la están perdiendo (CENTA, 2018).

Los síntomas típicos de la infección sistémica por mildiú velloso en sorgo comienzan con clorosis en la base de una hoja que cubre gradualmente una mayor proporción de hojas. En condiciones ambientales favorables se produce esporulación asexual, principalmente en el lado axial de las hojas infectadas. A medida que las plantas de sorgo infectadas maduran, se desarrollan rayas que van de cloróticas a blancas en las hojas más jóvenes, lo que indica el inicio de la formación de oosporas. Estas rayas se vuelven de color marrón rojizo, se necrosan más adelante y se trituran, liberando oosporas al aire. Las plantas de sorgo son generalmente estériles, pero no hay proliferación vegetativa en lugar de la flor. Hasta la llegada del metalaxil (N-(2,6-dimetilfenil)-N-(metoxiacetil)-dl-alaninato de metilo), los métodos de control químico eran deficientes. Metalaxyl es un fungicida sistémico que se absorbe a través de las hojas, el tallo y las raíces e inhibe la síntesis de proteínas en el hongo (Williams, 1984).

2.13. Uso en la alimentación animal y humana

Como menciona Ionita (2022), la composición del sorgo es muy parecida a la del maíz, tiene un alto contenido de hidratos de carbono, bajo contenido en grasa y es una fuente de vitaminas B (Cuadro 6). No contiene gluten y destaca por un alto contenido en fibra. Para el ganado, el sorgo tiene ventajas, aunque parecido al maíz como composición, tiene un valor energético superior. Tanto el contenido de almidón, que es fuente de energía, como la tasa de proteína son equivalentes o incluso superiores al maíz y comparables con el trigo.

En la alimentación animal se debe tener en cuenta la cantidad de taninos que contiene el sorgo, ya que estos son factores antinutricionales. Según el contenido de

taninos condensados podemos clasificar los sorgos graníferos en dos grupos: Sin taninos condensados (sorgos rojos y blancos) y con taninos condensados (sorgos marrones y café). Aunque las variedades de sorgo que contienen taninos condensados presentan mayor tolerancia a hongos y poseen mejor conservación, no son recomendados en dietas para animales monogástricos ya que provocan muchos inconvenientes a nivel nutricional (Lonita, 2022).

Si bien el destino, más común, ha sido la alimentación animal, el sorgo granífero es destinado a la alimentación humana como participante en la producción de alimentos y bebidas, se utiliza para hacer harina de sorgo o en harinas compuestas para la fabricación de galletas, pasteles, waffles, panes dulces y pan de jengibre. Además, se puede obtener aceite semejante al del maíz, contiene una mayor proporción de cera. Su consumo en México es de alta demanda y es usado con fines gastronómicos y medicinales. De igual manera, se elabora cerveza sin alcohol a base de sorgo malteado que tiene un sabor agrio y una consistencia espesa consumida en diversas partes del mundo (SADER, 2016).

En la alimentación humana, permite ahorros importantes que podrían sustituir el uso de maíz en la elaboración de productos de consumo humano, principalmente en regiones rurales de México, ya que por cada kilogramo de grano de sorgo blanco se consiguen más de 2.3 kg de masa, y del maíz, solo se obtienen 1.7 kg de masa. Por ser un cereal carente de gluten, representa una opción nutritiva para las personas celíacas (SADER, 2022). Las funciones altamente antioxidantes, antiinflamatorias de los taninos promueven la salud humana, además recientes estudios demuestran que pueden ser una herramienta útil en el combate contra la obesidad ya que reducen la digestibilidad (CENTA, 2020).

Además, su empleo en alimentación humana y animal, tiene interés por su uso como cultivo bioenergético, existiendo variedades de sorgo dulce con tallos ricos en azúcares, de los que se utiliza toda la planta para la fabricación de biocombustibles. En la industria de extracción se emplea fundamentalmente para la obtención de almidón, alcohol y glucosa; además, se usa en la fermentación acetobutílica donde se producen tres solventes importantes: alcohol, acetona y butanol (SADER, 2022).

Cuadro 6. Contenido nutricional del sorgo.

Contenido en 100 g	
Agua	12.4 g
Energía	329 cal
Proteína	10.6 g
Grasas	3.46 g
Carbohidratos	72.1 g
Fibra	6.7 g
Ceniza	1.43 g
Calcio	13 mg
Hierro	3.36 mg
Magnesio	165 mg
Fósforo	289 mg
Potasio	363 mg
Sodio	2 m
Zinc	1.67 mg
Tiamina	0.332 mg
Niacina	3.69 mg
Vitamina B-6	0.443 mg
Vitamina E	0.5 mg
Colesterol	0 mg

Fuente: USDA, 2019.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del sitio experimental

El establecimiento y evaluación de 27 híbridos experimentales de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) se realizó durante 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 “Bajo” en 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 es templado semiseco, se clasifica 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). A continuación, en el Cuadro 7 se presentan las características del experimento.

Cuadro 7. Características del ensayo y parcela experimental.

Localidad	UAAAN
Diseño	Bloques al azar
Número de repeticiones	3
Fecha de siembra	26 de mayo 2022
Régimen hídrico	Riego por cintilla
Número de híbridos experimentales	27
Número de surcos por parcela	1
Número de plantas por surco	75
Longitud de surco (m)	5
Distancia entre surcos (m)	0.80 m
Distancia entre plantas (m)	0.067 m
Fertilización*	20-30-10 y 20-20-20
Densidad de población (plantas ha ⁻¹)	187,500

*Fertidrip® y triple 20

3.2. Germoplasma utilizado

El germoplasma utilizado consistió de 27 híbridos experimentales de sorgo para grano (Cuadro 8) 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 8. Híbridos experimentales evaluados en el campo experimental de la UAAAN ciclo P- V 2022.

Número de identificación	Híbrido*	Número de identificación	Híbrido
1	2921 A x 378 R	15	1831 A x R1T11
2	2921 A x 278 R	16	2921 A x Tx 430R
3	1831 A x R1T1	17	2921 A x R2T13
4	2921 A x 162 R	18	1831 A x 162R
5	2921 A x 154 R	19	1831 A x R2T5
6	1831 A x 151 R	20	1823 A x 151 R
7	2921 A x 435 R	21	1831A x R1T9
8	2921 A x 150 R	22	2921 A x R2T20
9	2921 A x 151 R	23	WA x 162 R
10	2921 A x 90538 R	24	2921 A x R2T19
11	398 A x 151 R	25	2921 A x R2T16
12	398 A x 162 R	26	1831 A x R2T2
13	2921 A x R1T18	27	1831 A x 162 R
14	2921 A x 435 R		

*La nomenclatura de los híbridos experimentales se formó colocando primero la clave que corresponden a las líneas (A) androestériles, seguida del signo (x) para después colocar la clave de las líneas (R) restauradoras.

3.3. Manejo agronómico

3.3.1. Preparación del terreno

La preparación del terreno fue mecanizada con labores tradicionales utilizadas para el establecimiento de cereales de grano pequeño para las regiones donde se siembra bajo condiciones de riego. El barbecho se realizó a una profundidad de 20 a 25 cm, posteriormente se realizaron tres pasos de rastra para desmenuzar todos los terrones expuestos con el fin de mejorar la emergencia de las plántulas, después se realizó un surcado.

Para medir y delimitar las parcelas se utilizó una cinta métrica de 50 metros y cal, manualmente se midió y se marcaron las parcelas y bloques experimentales.

3.3.2. Siembra

La siembra se realizó directamente en campo y de manera manual el 26 de mayo de 2022, se colocaron las semillas a una profundidad aproximada de tres veces su tamaño, posteriormente se cubrieron con tierra. Después de terminada la siembra se procedió a colocar la cintilla para el riego por goteo, en el cual se verificó su correcta instalación y se aplicó el primer riego para promover la germinación.

3.3.3. Desmezcle

Esta actividad consistió en eliminar plantas fuera de tipo, de manera visual, las cuales se fueron identificando y eliminando las que no pertenecían a la parcela experimental de sorgo.

3.3.4. Fertilización

Se realizó la primera fertilización a base de NPK (20-30-10) un mes después de la siembra, posteriormente una fertilización foliar con macronutrientes (20-20-20) y micronutrientes a una dosis de 2.5 ml L⁻¹ mezclando con adherente/dispersante a una dosis de 1.5 ml L⁻¹ para mejorar la fijación del fertilizante. De igual manera se aplicó fertilizante foliar a base de ácidos húmicos y fúlvicos, con la dosis recomendada por el fabricante, en etapa vegetativa, reproductiva y llenado de grano. Este fertilizante se aplicó de dos a tres veces por semana.

3.3.5. Control de malezas

El principal método de control fue el manual, eliminando todo tipo de maleza ancha y angosta, dentro de las parcelas con el fin de evitar competencia por luz, agua y nutrientes con el cultivo. Posteriormente, se aplicó un herbicida de ingrediente activo Paraquat a una dosis de 2 ml L⁻¹ con adherente.

3.3.6. Control de plagas y enfermedades

Desde el día de la siembra se colocaron trampas con feromonas para gusano cogollero con el fin de monitorear su población. El control de plagas y enfermedades se llevó a cabo durante todas las etapas del cultivo, esto con la finalidad de evitar daños a la planta, para ello se monitoreaban de 2-3 veces por semana, con el fin de identificar la presencia o daño de una plaga o enfermedad. Cuando se presentó el gusano cogollero se aplicó el producto de ingrediente activo Spinetoram, a una concentración de 1.5 ml L⁻¹. y cuando se tuvo la presencia de pulgón amarillo, se controló con un insecticida de ingrediente activo Clorpirifos etil a una dosis de 1.5 L⁻¹.

3.3.7. Cosecha

La cosecha se realizó manualmente en el mes de noviembre del año 2022 cuando el contenido de humedad del grano se encontraba a un 13% aproximadamente, para esta actividad se utilizaron herramientas como tijeras de podar y hoz, se cortaron las panículas más representativas de cada parcela, posteriormente se agruparon las panículas por híbrido y bloque, para que no se mezclaran, se trasladaron a una bodega para su trilla y continuar con el proceso de acondicionamiento de grano.

3.3.8. Trilla de grano

La trilla se realizó de forma manual durante los meses de febrero y marzo del 2023, esta actividad consistió en separar todos los granos de las panículas con la ayuda de una caja de plástico y un pedazo de madera, con esta actividad también se iban separando las glumas de los granos. Después con la ayuda de un ventilador se eliminaron las glumas e impurezas, una vez limpio el grano se colocó en sobres de papel con sus respectivos datos de identificación para su posterior almacenamiento.

3.4. Variables evaluadas

Se seleccionaron tres plantas al azar en competencia completa, mismas que fueran representativas de la población de cada híbrido experimental, para la evaluación y análisis de datos en las siguientes variables:

3.4.1. Altura de planta (AP)

En etapa de madurez fisiológica final del grano, con la ayuda de una regla graduada 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 excursión (LE)

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

3.4.3. Longitud de la panícula (LP)

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

3.4.4. Incidencia de daño por aves (IDA)

Utilizando un porcentaje de 0 a 100% y de manera visual se evaluó el daño presentado en la panícula por el ataque e incidencia de aves. Este parámetro se evaluó en la etapa de madurez fisiológica del grano.

3.4.5. Enfermedades foliares (EF)

Se evaluó de forma visual mediante una escala de 1 al 5. Donde (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, evaluándose cuando la planta llegó a madurez fisiológica.

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 el coeficiente de variación no es mayor a 4 se aplica la siguiente fórmula para obtener el resultado:

$$\text{Peso de 1000 semilla} = \text{Media aritmética} \times 10$$

3.4.7. 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}).

3.4.8. Color del grano

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).

3.5. Análisis estadístico

Para la evaluación de 27 híbridos de sorgo y siete variables estimadas en el ciclo agrícola P-V 2022, se utilizó el diseño de bloques al azar con tres repeticiones, 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 .

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:

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

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

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 = $\sqrt{\text{CME}/r}$

Correlaciones fenotípicas entre las variables evaluadas

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

En donde:

$r(XY)$ y $\text{COV}(XY)$ 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

El color del grano de sorgo generalmente está relacionado con la presencia de taninos, lo cual es un factor determinante para la incidencia o ataque de daño por aves, aunque también el color de la testa del grano se relaciona con su uso o destino final, el cual poder ser para alimentación humana o animal, así como su utilización como materia prima para la agroindustria. En el Cuadro 9 se muestra la característica cualitativa del color de grano en los híbridos de sorgo evaluados.

Cuadro 9. Color de grano de los híbridos evaluados en el campo experimental Bajío de la UAAAN, ciclo P-V 2022.

Número de identificación	Híbrido	Color de grano
1	2921 A x 378 R	Marrón claro
2	2921 A x 278 R	Marrón claro
3	1831 A x R1T1	Marrón rojizo
4	2921 A x 162 R	Blanco amarillento
5	2921 A x 154 R	Marrón claro
6	1831 A x 151 R	Marrón rojizo
7	2921 A x 435 R	Marrón claro
8	2921 A x 150 R	Marrón rojizo
9	2921 A x 151 R	Marrón rojizo
10	2921 A x 90538 R	Marrón claro
11	398 A x 151 R	Marrón claro
12	398 A x 162 R	Rojo anaranjado
13	2921 A x R1T18	Marrón oscuro
14	2921 A x 435 R	Marrón oscuro
15	1831 A x R1T11	Naranja
16	2921 A x Tx 430 R	Marrón rojizo
17	2921 A x R2T13	Marrón oscuro
18	1831 A x 162 R	Marrón rojizo
19	1831 A x R2T5	Marrón oscuro
20	1823 A x 151 R	Marrón claro
21	1831 A x R1T9	Marrón rojizo
22	2921 A x R2T20	Marrón claro
23	WA x 162 R	Naranja
24	2921 A x R2T19	Marrón claro
25	2921 A x R2T16	Marrón claro
26	1831 A x R2T2	Marrón rojizo
27	1831 A x 162 R	Marrón rojizo

Con respecto a esta variable, se observa que el color marrón en sus diferentes tonalidades es el de mayor predominancia, por el contrario, solo se presenta un

híbrido de color blanco amarillento (híbrido 4), uno de color rojo anaranjado (híbrido 12) y dos de color naranja (híbridos 15 y 23).

El análisis de varianza indicó diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre híbridos para todas las variables evaluadas (Cuadro 9). Lo anterior es consecuencia de las diferencias genéticas entre los híbridos. Las variables evaluadas presentaron bajos Coeficientes de Variación (C.V.) con valores entre 1.24% para PMS y 15.55% para EF, a excepción de IDA que presentó un alto (C.V.=42.85%), por lo que se tuvieron que transformar los datos.

Cuadro 10. Cuadrados medios y significancia estadística de 27 híbridos experimentales de sorgo evaluados en el campo experimental El Bajío de la UAAAN, ciclo P-V 2022.

F.V.	G.L.	Cuadrados Medios						
		AP ¹	LE	LP	IDA T	EF	PMS	RTO
Híbridos	26	1342.2**	55.86**	23.17**	3.04**	0.26**	106.6**	2196.5**
Bloques	2	4.8	0.27	1.73	0.074	0.0024	0.14	16.5
Error	52	16.9	1.72	2.05	0.1443	0.09962	0.118	32.4
Total	80							
Media		124.95	9.2	26.2	2.26	2.03	27.81	81.3
C.V. (%)		3.29	14.26	5.46	16.81	15.55	1.24	7.00

**Significativo al 0.01 de probabilidad. ¹AP= altura de planta, LE= longitud de excursión, LP= longitud de panícula, IDA T= incidencia de daño por aves (datos transformados por $\sqrt{x+1}$), EF= incidencia de enfermedades, PMS= peso de 1000 semillas y RTO= rendimiento. C.V. %= coeficiente de variación.

Como menciona Williams *et al.*, (2014), los sorgos con alturas de planta superiores a 1.70 m son indeseables, ya que suelen presentar problemas frecuentes de acame y dificultad para la cosecha mecanizada. House (1985) reporta la presencia de genes dominantes para una altura de planta mayor, siendo esta una explicación razonable del valor mayor de altura de planta que presentan los híbridos con respecto a sus progenitores. En la comparación de medias (Cuadro 11), se observa que para la variable altura de planta (AP), el híbrido número 22 (2921A x R2T20) registró la mayor altura (196.8 cm) y estadísticamente fue superior al resto. Por el contrario, el híbrido número 1 (2921A x 378R) presentó la menor altura de planta (89.3 cm).

Cuadro 11. Comparación de medias mediante la prueba de Tukey 0.05 de 27 híbridos de sorgo evaluados en el campo experimental El Bajío de la UAAAN, ciclo P-V 2022.

No.	AP* cm	LE cm	LP cm	IDA %	EF (1-5)	PMS g	RTO g pl ⁻¹
24	118.8 e	1.2 k	29.7 a	3.3 d	1.7 a	38.2 a	150.2 a
10	178.9 b	15.7 a	28.2 a	0.0 e	2.0 a	37.2 a	141.5 a
22	196.8 a	19.8 a	28.5 a	0.0 e	2.0 a	33.8 c	126.8 b
25	126.5 d	6.7 j	25.0 b	4.2 c	2.3 a	35.9 b	117.0 b
27	139.8 c	11.4 c	26.8 a	12.5 b	2.0 a	29.1 g	100.8 c
2	94.6 i	6.2 j	21.8 i	0.0 e	1.9 a	33.5 c	99.4 c
3	124.3 d	8.9 f	28.7 a	5.6 b	1.7 a	25.4 i	93.2 c
6	128.8 g	7.6 h	29.4 a	7.8 b	1.8 a	27.2 h	87.1 c
4	107.4 h	1.9 k	23.1 g	1.9 d	1.6 b	32.5 d	87.1 c
5	112.0 g	6.7 j	29.9 a	6.7 b	2.2 a	25.1 i	80.6 d
19	123.3 b	7.4 h	28.5 a	2.5 d	2.2 a	25.1 i	80.4 d
12	117.6 e	12.4 b	23.9 e	2.2 d	2.4 a	31.9 e	79.8 d
8	123.7 d	9.6 e	26.0 a	5.0 c	1.7 a	20.9 l	78.1 d
1	89.3 j	1.3 k	20.5 j	0.0 e	1.4 c	27.8 h	73.9 d
18	118.5 e	14.0 b	24.7 d	5.8 b	2.2 a	24.6 i	73.3 d
20	127.8 c	8.9 f	28.7 a	3.3 d	2.5 a	32.4 e	72.5 d
7	112.4 g	7.7 h	21.9 i	0.0 e	2.1 a	23.2 k	69.9 d
23	120.5 d	15.3 b	23.2 f	4.2 c	2.0 a	30.9 f	68.9 d
26	129.0 c	7.0 i	29.3 a	30.0 a	2.3 a	25.5 i	65.8 d
15	129.0 c	8.4 g	27.8 a	10.8 b	2.3 a	37.5 a	64.1 d
11	115.9 f	12.7 b	27.7 a	6.1 b	2.7 a	24.0 j	62.0 e
14	126.8 c	10.9 d	22.3 h	7.2 b	2.1 a	26.9 h	60.9 e
9	121.2 d	8.1 h	25.6 a	5.6 b	1.9 a	19.5 m	60.3 e
21	122.2 d	8.0 h	27.0 a	3.3 d	2.0 a	25.5 i	58.7 e
13	133.4 c	13.5 b	26.0 a	7.2 b	2.1 a	21.6 l	56.3 e
16	118.3 e	9.4 e	24.8 c	4.2 c	1.8 a	17.8 n	50.5 e
17	116.8 e	7.7 h	28.6 a	0.0 e	2.0 a	18.1 n	35.9 f
Tukey 0.05	12.56	4.01	4.37	6.75	0.96	1.05	17.38

*AP= altura de planta, LE= longitud de excersión, LP= longitud de panícula, IDA= incidencia de daño por aves (datos originales), EF= incidencia de enfermedades, PMS= peso de 1000 semillas y RTO= rendimiento.

La longitud de excersión es una característica muy importante y al momento de seleccionar híbridos de sorgo en un programa de mejoramiento genético se debe de tener en cuenta. House (1985), considera con una buena excersión aquellos genotipos que presenten una longitud mayor a 10 cm. La excersión varió de 1.2 a 19.8 cm, siendo el híbrido 22 (2921A x R2T20) el de mayor LE. Siguiendo la recomendación de House, tenemos que los híbridos 22, 10, 23, 18, 13, 11, 12, 27 y

14 presentan una excersión óptima. De acuerdo con Rebollar-Avila *et al.*, (2018) en siembras tardías y en condiciones de secano se ha observado que la longitud de la excersión de un mismo genotipo casi duplica a la de riego, lo que indica que esta variable interactúa con el ambiente y es sensible a los cambios en humedad y temperatura.

La longitud de la panícula (LP) es de gran importancia para el rendimiento, ya que generalmente se asocia una panícula grande con un mayor número de espiguillas y granos, lo que aumenta el rendimiento. En este experimento el híbrido número 5 (2921A x 154R) presento la mayor longitud de panícula con un promedio de 29.9 cm, por el contrario, el híbrido número uno fue el de menor tamaño de panícula con 20.5 cm de longitud. Aunque numéricamente el híbrido cinco presento la panícula de mayor longitud, estadísticamente es igual a los híbridos 24, 6, 26, 3, 20, 17, 22, 19, 10, 15, 11, 21, 27, 13, 8 y 9, los cuales presentaron longitudes en promedio de 25.6 a 29.7 cm.

Como menciona Jaramillo (2012), los taninos y particularmente los de naturaleza condensada están presentes solo en los sorgos genótipicamente pardos poseedores de una testa pigmentada. Este tipo de sorgo es resistente al ataque de aves. El híbrido 26 (1831A x R2T2) de grano color marrón rojizo presento el mayor porcentaje de daño por aves (30%) siendo estadísticamente el más atacado y por el contrario los híbridos 2, 1, 22, 17, 7 y 10 no presentaron daño a causa de las aves. Con respecto al resto de los híbridos presentaron un bajo daño por aves, el cual varió de 1.9-12.5% derivado a que la mayoría de ellos son marrones. A pesar de que el híbrido cuatro tiene un color de grano blanco amarillento solo sufrió en promedio 1.9% de daño a causa de las aves.

En la variable enfermedades foliares (EF), se encontraron diferencias altamente significativas, lo que nos indica que el grado de tolerancia a las enfermedades foliares de los diferentes híbridos son debidos a factores genéticos. El híbrido número 4 (2921 A x 162 R) fue el que presento menos enfermedades foliares obteniendo un valor promedio de 1.4 y el híbrido con mayor presencia de

enfermedades fue el 11 (398 A x 151 R) con un valor de 2.7, donde el 1 es una planta completamente sana y 5 una planta con más de 41% de daño (House, 1985).

El peso de 1000 semillas es un componente del rendimiento muy importante además de que proporciona información esencial sobre el tamaño y la calidad de las semillas o grano, influyendo directamente en el rendimiento del cultivo. El clima, la fertilidad del suelo y agua disponible influyen en el tamaño y el peso final del grano. Como menciona Gerik *et al.*, (1993), en promedio 1000 semillas o granos pesan 25 gramos (40000 granos por kilo), pero puede variar desde 13 hasta 40 gramos por cada 1000 granos. Con respecto a esta variable en el Cuadro 11 se pueden observar los valores medios de cada genotipo, donde el híbrido 24 (2921A x R2T19) presenta el mayor PMS (38.2 g), mientras que el híbrido número 16 fue el de menor peso con 17.8 g. Sin embargo, los híbridos 15 (1831A x R1T11) y 10 (2921A x 90538R) estadísticamente fueron iguales al de mayor PMS (híbrido 24) con 37.5 g y 37.2 g respectivamente.

El tamaño y peso del grano cosechado, ambos componentes determinantes del rendimiento final del sorgo y dependerán del factor genético (peso potencial) y de la capacidad de la planta para acumular materia seca durante GS III (de inicio de floración hasta madurez fisiológica). Según Gerik *et al.*, (1993) en términos generales, el 85% por ciento de la materia seca producida por la planta durante GS III va directamente al grano. Sólo el 15% del peso final del grano se origina de la materia seca producida en estadios previos. Como se puede observar en el Cuadro 11 para la variable rendimiento (RTO), los híbridos número 24 (150.2 g por planta) y 10 (141.5 g por planta) estadísticamente fueron iguales y superiores al resto, en contraste el híbrido 17 fue el de menor rendimiento con 35.9 g por planta lo que nos indica la diferencia genética entre los híbridos evaluados.

A pesar de que el híbrido número 24 (2921A x R2T19) presentó el mayor rendimiento, una altura promedio aceptable, fue el segundo con mayor tamaño de panícula, con un bajo ataque por aves y poca incidencia de enfermedades foliares, este híbrido fue el que presentó la menor longitud de excursión (1.2 cm), estando muy por debajo de lo ideal, para evitar problemas con la cosecha mecanizada, alta

humedad del grano y por lo tanto, se pueden presentar incidencia de hongos, lo cual lo convierte en un híbrido poco viable, pero debemos de considerar a sus progenitores para futuras cruzas, ya que en casi todas las características agronómicas fueron sobresalientes.

De igual manera, el híbrido número 10 (2921A x 90538R) presento características agronómicas muy sobresalientes y similares al híbrido 24, a excepción de la longitud de la excersión en la cual obtuvo una longitud ideal de 15.7 cm e incidencia de daño por aves de 0%. La característica menos favorable del híbrido 10 es su altura de planta ya que presento una altura promedio de 178.98 cm lo que, según la literatura, lo hace más susceptible al acame. Un punto muy importante que considerar es que el híbrido 24 y 10 comparten el mismo progenitor femenino (2921 A) por lo cual es importante incrementar su semilla, para utilizarla como línea androestéril con su macho mantenedor (2921 B) como progenitores en futuras cruzas.

El híbrido 22 mostro características muy competitivas, entre las que destacan un IDA= 0%, un rendimiento de 126.8 g por planta además de que fue el híbrido con la mayor LE (19.8 cm), siendo AP su punto más cuestionable por medir en promedio 196.8 cm. Este híbrido de igual manera tiene como progenitor a la línea 2921 A.

Otro híbrido con buenas características es el 27 (1831A x 162R), del cual destacan las variables AP (139.8 cm), un rendimiento de 100.8 g por planta y una LP de 26.8 cm. Siendo su variable más cuestionable el IDA ya que en promedio presentó un ataque de 12.5%.

Los híbridos 12 (398A x 162R) y 18 (1831A x 162R) a pesar de no tener los más altos rendimientos (79.8 g y 73.3 g por plana respectivamente), mostraron una aceptable LE (12.4 cm y 14 cm respectivamente), una AP de 117.6 cm para el híbrido 12 y 118.5 cm para el híbrido 18.

Un aspecto importante por mencionar es que los híbridos 27, 12 y 18 tiene en común al progenitor 162 R. Teniendo en cuenta esto, dentro de este experimento existió un híbrido creado a partir de la línea 2921A y 162R (híbrido 4) el cual presento un rendimiento promedio de 87.1 g por planta haciéndolo superior en este aspecto a los híbridos 12 y 18, con una LE de 1.9 cm, lo cual es una característica desfavorable en los híbridos de sorgo para grano.

La asociación que pueda existir entre las características agronómicas del sorgo son de gran interés para los fitomejoradores. Para Muluaem *et al.*, (2018) el rendimiento es un carácter complejo que depende de varios caracteres componentes. Por lo tanto, la selección directa por rendimiento a menudo no es eficaz. En este caso, se encontró una correlación altamente significativa ($p \leq 0.01$) de $r = 0.734$ entre PMS y RTO (Cuadro 12). Esto indica que los híbridos de mayor peso de 1000 semillas fueron los que presentaron los más altos rendimientos. De igual manera la variable AP se correlacionó ($p \leq 0.05$) de $r = 0.459$ con RTO lo que indica que en general, los híbridos de mayor altura son los que también presentaron un mayor rendimiento.

Cuadro 12. Correlaciones fenotípicas entre las variables agronómicas de sorgo evaluadas en el ciclo P-V 2022.

	AP ¹	LE	LP	IDA	EF	PMS
LE	0.704**					
LP	0.457*	0.108				
IDA	0.040	-0.025	0.328			
EF	0.160	0.407*	0.265	0.272		
PMS	0.287	-0.021	0.038	-0.111	0.071	
RTO	0.459*	0.026	0.211	-0.197	-0.202	0.734**

*Significativo al 0.05, **Altamente significativo al 0.01 de probabilidad. ¹AP= altura de planta, LE= longitud de excursión, LP= longitud de panícula, IDA= incidencia de daño por aves (datos originales), EF= incidencia de enfermedades, PMS= peso de 1000 semillas y RTO= rendimiento.

La altura de planta mostró correlación altamente significativa ($p \leq 0.01$) y positiva con longitud de la excursión ($r = 0.704$), lo que indica que las plantas más altas presentaron una mayor longitud de la excursión. La longitud de la panícula presentó una correlación ($p \leq 0.05$) de $r = 0.457$ con la variable altura de planta, siendo que en general las plantas de mayor altura presentaron una longitud de panícula mayor. De igual manera se encontró correlación significativa ($p \leq 0.05$) de $r = 0.407$ entre las variables longitud de excursión y enfermedades foliares, mostrando que las plantas de mayor excursión fueron las que presentaron un grado mayor de incidencia de enfermedades foliares.

V. CONCLUSIONES

El híbrido 24 (2921A x R2T19) fue el de mayor rendimiento de grano con 150.2 g, pero presentó la longitud de excersión más corta de 1.2 centímetros.

El híbrido número 10 (2921A x 90538R), fue el segundo con mayor rendimiento de grano con 141.5 g y una altura de planta promedio de 178.98 centímetros.

El híbrido número 22 presento un rendimiento de grano por planta de 126.8 g, pero por el contrario presento la AP más alta con 196.8 cm de todos los híbridos evaluados.

El híbrido 17 (2921A x R2T13) fue el de menor rendimiento con apenas 35.9 g por planta, siendo sus mejores características la LP (28.6 cm) y una AP de 116.8 cm.

De acuerdo con los objetivos e hipótesis planteados en la presente investigación se puede concluir que entre los híbridos existen algunos con alto potencial de rendimiento como los híbridos número 24, 10 y 22. El híbrido 10 (2921A x 90538R) fue el que presento el mejor comportamiento agronómico en todas las variables evaluadas.

VI. LITERATURA CITADA

- CENTA. (2018). (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal). Programa de Granos Básicos. Cultivo sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) Libertad Republica de El Salvador, C.A.
- CESAVEG. (2016). Manual de Plagas y Enfermedades en Sorgo. Campaña Manejo Fitosanitario del Sorgo. Consultado en febrero de 2024 Disponible en <http://cesaveg.org.mx/divulgacion/plagasyenfermedadsorgo>
- Cisneros-López, M. E., L. E. Mendoza-Onofre, G. Mora-Aguilera, L. Córdova-Téllez, and M. Livera-Muñoz. (2007). Cold tolerant sorghum hybrids and parental lines. Agrocienza
- Clará Valencia, René and D'Croz-Mason, Nora E. (2008). La Androesterilidad en el Mejoramiento Genético del Sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench). INTSORMIL Scientific Publications.
- 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/>
- DGSV-DCNRF. (2019). Gusano soldado *Mythimna unipuncta*. SADER-SENASICA. Dirección General de Sanidad Vegetal-Dirección del Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. Ficha Técnica. Tecámac, Estado de México. 21 p.
- DGSV-CNRF. (2020). Gusano soldado *Spodoptera exigua* (Hübner, 1808) (*Lepidoptera: Noctuidae*). SADER-SENASICA. Dirección General de Sanidad Vegetal - Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. Ficha Técnica. Tecámac, México. 25 p

- Financiera Rural. (2011). Monografía del sorgo. Consultado en febrero 2024. Disponible en: <https://www.yumpu.com/es/document/read/32643812/monografia-del-sorgo-grano-financiera-rural>
- FAO. (1997). La Economía del Sorgo y del Mijo en el Mundo: Hechos, Tendencias y Perspectivas. Consultado en febrero 2024. Disponible en: <https://www.fao.org/3/w1808s/w1808s00.htm>
- Fuller, D. Q., Stevens, C. J. (2018). "Sorghum domestication and diversification: a current archaeobotanical perspective," in *Plants and People in the African Past*. Eds. Mercuri, A. M., D'andrea, A. C., Fornaciari, R., Höhn, A. 427–452.
- Flores-Naveda, Antonio, Valdés-Lozano, Ciro G.S., Zavala-García, Francisco, Olivares-Sáenz, Emilio, Gutiérrez-Díez, Adriana, & Vázquez-Badillo, Mario Ernesto. (2013). Comportamiento agronómico de líneas para la producción de semilla de sorgo. *Agronomía Mesoamericana*, 24(1), 111-118.
- Garza U. E. (2014). La mosca de la panoja *Contarinia sorghicola* y su manejo en la planicie Huasteca. INIFAP Centro de Investigación Regional del Noreste Campo Experimental las Huastecas. Disponible en: <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/1006.pdf> Fecha de consulta: febrero de 2024.
- Garza U. E., E. Aguirre A., E. Céspedes T. y R. del Angel S. (2003). Guía para cultivar sorgo en la Planicie Huasteca Potosina. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Ebano. Folleto para Productores Núm. 4. San Luis Potosí, México
- Gerik, T., Bean., Vanderlip, R. (1993). *Sorghum- Growth and Development*. Texas Cooperative Extension- The Texas A&M University System.
- Gupta, S. C. (1999). Seed Production Procedures in Sorghum and Pearl Millet. Information Bulletin no. 58. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. Patancheru, Andhra Pradesh, India 502 324.

- Herbario Virtual Fitopatología. (2024). Roya del Sorgo (*Puccinia purpurea*). Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires. Consultado en febrero 2024. Disponible en: https://herbariofitopatologia.agro.uba.ar/?page_id=117
- Hermesen, J. E. (2023). Sorghum morphology and anatomy. Earth home. Paleontological Research Institution. Consultado en febrero 2024. Disponible en: <https://evolution.earthathome.org/grasses/andropogoneae/sorghum-morphology/>
- House L. R. (1982). El Sorgo. Guía Para su Mejoramiento. Universidad Autónoma Chapingo. Grupo Editorial Gaceta, S.A. México, D.F. 425 p.
- House, L.R. (1985) A Guide to Sorghum Breeding. 2nd Edition, International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Patancheru. India.
- Ionita. E. (2022). El sorgo, un Mercado en Crecimiento. Veterinaria Digital. Fecha de Consulta, febrero 2024. Obtenido de: <https://www.veterinariadigital.com/articulos/el-sorgo-un-mercado-en-crecimiento>.
- Jaramillo, M.E. (2012). Taninos condensados en sorgo: significancia toxicológica. XXII Congreso Centroamericano y del Caribe de Avicultura, en Panamá. Fecha de consulta: marzo 2024. Obtenido de: <https://www.elsitioavicola.com/articles/2241/taninos-condensados-en-sorgo-significancia-toxicologica/>
- Lavilla, M., Ivancovich A., & Senigagliesi, C. (2016). Manejo de la roya del sorgo (*Puccinia purpurea cooke*) con fungicidas bajo dos dosis de fertilización nitrogenada. Publicado en el: III Simposio Nacional y I conferencia internacional de sorgo. Lugar: AIANBA, Pergamino, Buenos Aires. 6p.
- Maya, H. V., Rodríguez, B. L. A. (2014). Pulgón Amarillo: Una Nueva Plaga del Sorgo en Tamaulipas. Centro de Investigación Regional Noreste. Ciudad Río Bravo, Tamaulipas.

- Mendoza O., L. E. (1983). Estudios fisiotécnicos de sorgo realizados en el Colegio de Postgraduados (México). Fitotecnia 5
- Montes, N., Pecina, V., Williams, H., Hernandez, M., Cisneros, M.E., Moreno, T. (2021). Mejoramiento genético de sorgo en el INIFAP. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.
- Mulualem. T., Alamrew. S., Tadesse. T., Wegary. D. (2018). Correlation and Path Coefficient Analysis for Agronomical Traits of Lowland Adapted Ethiopian Sorghum Genotypes [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] Genotypes. Journal of Biology, Agriculture and Healthcar. 8: 29-32.
- Nieto, I. L. (1989). Manejo de Enfermedades en Cultivo de sorgo. Produccion Moderna del Sorgo. Instituto Colombiano Agropecuario. 91-107.
- Parra, P. E., Escobar, A., (1990). El Cultivo del Sorgo. Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). Cúcuta, Colombia. 39 p.
- Pérez, A., Saucedo, O., Iglesias, J., Wencomo, H.B., Reyes, F., Oquendo, G., Milián, I., (2010). Caracterización y potencialidades del grano de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). Pastos y Forrajes, 33(1), 1-26.
- Poehlman, JM. (2005). Mejoramiento genético de las cosechas. 2 ed. Editorial Limusa. D.F., México. 511 p.
- Poehlman J. M. y D. A. Sleper (2003). Mejoramiento Genético de las Cosechas. 2a. ed. Limusa. México, D. F. 506 p.
- Rao, NGP. (2002). Sorghum in Evolution and Adaptation of Cereal Crops. Sci. Pub. Inc. E. New. Hampshire. USA. p. 214-238.
- Rao SS, Seetharama N, Kiran Kumar KA, and Vanderlip RL. (2004). Characterization of Sorghum Growth Stages. NRCS Bulletin Series no.14. National Research Centre for Sorghum, Rajendranagar, Hyderabad 500 030, Andhra Pradesh, India.

- Rebollar-Avila, Cesar, Mendoza-Onofre, Leopoldo E., Cisneros-López, María Eugenia, Silva-Rojas, Hilda V., & Córdova-Téllez, Leobigildo. (2018). Caracterización y rendimiento de semilla de progenitores femeninos de híbridos simples y trilineales de sorgo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41: 423-431.
- SADER. (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2016). Cinco derivados del sorgo que no conocías. Fecha de consulta, febrero 2024. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/cinco-derivados-del-sorgo-que-noconocias>.
- SADER. (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2022). Sorgo, más que un cereal. Fecha de consulta, febrero 2024. Obtenido de: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/sorgo-mas-que-un-cereal?idiom=es>
- SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas). (2018). Regla para la calificación de semilla de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.).
- SIAP (Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera). (2022). Producción agrícola de cultivos cíclicos y perennes. Fecha de consulta, febrero 2024. Obtenido de: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Taylor, J.R.N., Schober T.J. y Bean S.R. (2006). Novel food and non food uses for sorghum and millets. *Journal of Cereal Science* 44, 252–271.
- 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 (United States Department of Agriculture). (2019). Sorghum grain. Consultado en febrero 2024. Disponible en: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169716/nutrients>

- USDA (United States Department of Agriculture). (2023). Classification for Kingdom Plantae Down to Species *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Consultado en febrero 2024. Disponible en: <https://plants.usda.gov/home/classification/25706>
- USDA (United States Department of Agriculture). (2023). Production - Sorghum. Consultado en febrero 2024. Disponible en: <https://fas.usda.gov/data/production/commodity/0459200>
- Venkateswaran, K., Elangovan, M., Sivaraj, N. (2019). Origin, Domestication and Diffusion of *Sorghum bicolor*, in Breeding Sorghum for Diverse End Uses. Eds. Aruna, C., Visarada, K.B.R.S., Bhat, B. V., Tonapi, V. A. Cambridge, United Kingdom. 434p.
- Winchell, F., Stevens, C. J., Murphy, C., Champion, L., Fuller, D. Q. (2018). Evidence for Sorghum Domestication in Fourth Millennium BC Eastern Sudan Spikelet Morphology from Ceramic Impressions of the Butana Group. 505 p.
- Williams, A. H., Torres, M.H., y Barza, S. P. (1988). Producción de semilla de sorgo. pp 22-46. En: PIFSV (ed.). Manual de Producción y manejo de semillas Tamaulipas Norte.
- Williams, A. H., Monte, GN; Pecina, QV. (2006). Sorgo. In Rodríguez del Bosque, LA. ed. Campo Experimental Río Bravo: 50 años de investigación agropecuaria en el norte de Tamaulipas, Historia, Logros y Retos. Capítulo 3. Libro Técnico No. 1. INIFAP. Campo Experimental Río Bravo, Tamaulipas, México. 325 p.
- Williams-Alanís, H. y Arcos-Cavazos G. (2014). Comportamiento agronómico de híbridos y progenitores de sorgo para grano en las Huastecas. *Agronomía Mesoamericana*. 26: 87-97 DOI: <https://doi.org/10.15517/am.v26i1.16926>
- Williams, R. J. (1984). Downy Mildews of Tropical Cereals. *Advances in Plant Pathology*. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. Patancheru, Andhra Pradesh, India 502 324. 103p.

VII. APENDICE

Fotografías de campo:



Trazado y siembra



Etapas vegetativa



Emergencia de la panícula



Madurez fisiológica del grano



Panícula con daño por aves



Toma de datos



Cosecha de híbridos



Trilla