

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Incremento de Líneas Progenitoras para la Producción de Semilla Híbrida de  
Sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]

Por:

**GONZALO SÁNCHEZ CRUZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre, 2023.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Incremento de Líneas Progenitoras para la Producción de Semilla Híbrida de  
Sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]

Por:

**GONZALO SÁNCHEZ CRUZ**

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. Neymar Camposeco Montejo  
Coasesor

Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre, 2023

## 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, gráficas, 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



---

Gonzalo Sánchez Cruz

## **DEDICATORIA**

### **A mis Padres**

Gilberto Sánchez Cruz y Catalina Cruz Cruz, por darme la vida, protegerme, brindarme los recursos necesarios, guiarme y depositar la confianza en mí durante toda mi vida, lo cual es un motivo para seguir echándole ganas en la vida.

### **A mis hermanos**

Bernardina, María Chanel, Everlida, Leonardo, Margarita y Rodrigo, por el apoyo que me brindaron, por los consejos y cariño que recibí de ellos para que siguiera mis estudios profesionales. No fue fácil realizar este proyecto que hoy se culmina, gracias a ustedes se hizo una realidad, los aprecio mucho hermosa familia.

### **A mi tío**

El ingeniero Jeremías por motivarme y recibir el apoyo cuando más lo necesitaba antes y durante la carrera universitaria. Una persona de bien y un ejemplo a seguir.

### **A mi familia en general**

Por el apoyo moral y económico que significó mucho durante mi formación personal y profesional les agradezco, y hago presente mi gran afecto hacia ustedes, mi gran familia.

## AGRADECIMIENTOS

A **Dios** ante todo, por darme la vida, protegerme en todo momento, guiarme, y darme las fuerzas necesarias para lograr este proyecto de vida, por no abandonarme en los momentos más difíciles de mi vida.

A mi “**Alma Terra Mater**” la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por abrirme las puertas, acogerme y ser un segundo hogar para mí. Por los conocimientos adquiridos durante mi formación profesional y por los consejos que me brindaron los Profesores de la institución.

Al **Dr. Antonio Flores Naveda** por darme la oportunidad de cumplir un sueño, además de apoyarme en todo momento de manera incondicional, por transmitir sus conocimientos a lo largo de este proyecto.

A los Doctores; **Armando Muñoz Urbina, Josué Israel García López, Neymar Camposeco Montejo**, por sus valiosas aportaciones para la realización del presente trabajo.

A mi tutora **Rosa Martha Arredondo Esquivel**, por ser una gran persona y darme palabras de ánimo y consejos que me serán útiles en la vida.

Al **C. Lorenzo Villa Sandoval** por ser una gran persona, un ejemplo a seguir y apoyarme en el trabajo en campo, siempre con responsabilidad, para llevar a cabo el proyecto de investigación.

A mis **amigos**, Noé Alberto, Teresa, Salomón, Romeo, Rosa, Sandra, Melvin, Karla, Daniel, Diego y Alejandro que en todo momento me mostraron lealtad, me acompañaron durante la trayectoria en la universidad y fuera de ella.

A todos mis **compañeros**, que en algún momento compartimos momentos inolvidables que no serán borrados de mi memoria.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	viii
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. Importancia del cultivo de sorgo.....	4
2.3. Clasificación taxonómica.....	6
2.4. Descripción Morfológica de la planta.....	6
2.4.1. Raíz.....	6
2.4.2. Tallo.....	6
2.4.3. Hojas.....	7
2.4.4. Flores.....	7
2.4.5. Semillas.....	7
2.5. Etapas de crecimiento y desarrollo.....	8
2.6. Principales plagas en el cultivo de sorgo.....	12
2.6.1. Gusano cogollero ( <i>Spodoptera frugiperda</i> ).....	12
2.6.2. Barrenador del tallo menor ( <i>Elasmopalpus lignosellus</i> ).....	12
2.6.3. Gallina ciega ( <i>Phyllophaga spp.</i> ).....	13
2.6.4. Pulgón amarillo ( <i>Melanaphis sacchari</i> ).....	13
2.7. Principales enfermedades del sorgo.....	15
2.7.1. Ergot ( <i>Claviceps africana</i> ).....	15
2.7.2. Antracnosis ( <i>Colletotrichum graminicola</i> ).....	15
2.7.3. Roya ( <i>Puccinia purpurea</i> ).....	16
2.7.4. Tizón de la panícula ( <i>Fusarium spp.</i> ).....	17

2.7.5.	Podredumbre carbonosa del tallo ( <i>Macrophomina phaseolina</i> ) .....	17
<b>2.8.</b>	<b>Mejoramiento genético del sorgo y objetivos</b> .....	18
<b>2.9.</b>	<b>Androesterilidad en sorgo</b> .....	18
<b>2.10.</b>	<b>Tipos de líneas en sorgo</b> .....	19
<b>2.11.</b>	<b>Incremento y mantenimiento de líneas A, B y R</b> .....	20
<b>2.12.</b>	<b>Formación de híbridos</b> .....	20
<b>2.13.</b>	<b>Aislamiento</b> .....	22
<b>2.14.</b>	<b>Composición nutricional del sorgo</b> .....	23
<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	25
<b>3.1.</b>	<b>Localización del sitio experimental</b> .....	25
<b>3.2.</b>	<b>Germoplasma utilizado</b> .....	25
<b>3.3.</b>	<b>Manejo agronómico</b> .....	26
3.3.1.	Preparación del terreno .....	26
3.3.2.	Siembra .....	27
3.3.3.	Desmezcle .....	27
3.3.4.	Fertilización .....	27
3.3.5.	Control de malezas .....	27
3.3.6.	Control de plagas y enfermedades .....	28
3.3.7.	Polinización de líneas isogénicas A, B y R (restaurador) de sorgo .....	28
3.3.8.	Cosecha .....	28
3.3.9.	Trilla de las semillas .....	29
<b>3.4.</b>	<b>Variables evaluadas</b> .....	29
3.4.1.	Días a floración (DF) .....	29
3.4.2.	Altura de la planta (AP) .....	29
3.4.3.	Longitud de excursión (LE) .....	30
3.4.4.	Longitud de panícula (LP) .....	30
3.4.5.	Daños por aves (DA) .....	30
3.4.6.	Enfermedades foliares (EF) .....	30
3.4.7.	Rendimiento de grano por planta (REN) .....	30
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	32
<b>4.1.</b>	<b>Líneas A de sorgo</b> .....	32
<b>4.2.</b>	<b>Líneas B de sorgo</b> .....	34

4.3. Líneas R de sorgo .....	37
V. CONCLUSIONES .....	41
VI. LITERATURA CITADA .....	42
VII. APENDICE .....	48



## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Distancia mínima de aislamiento del lote de producción de semilla respecto a especies en variedades para grano, forrajeras y escobera. ....	23
<b>Cuadro 2.</b> Composición nutricional del sorgo en 100 gramos (el equivalente a media taza). ....	24
<b>Cuadro 3.</b> Descripción de la parcela experimental .....	25
<b>Cuadro 4.</b> Líneas experimentales de sorgo utilizadas en el trabajo de investigación. ....	26
<b>Cuadro 5.</b> Cuadrados medios del análisis de varianza de siete características agronómicas de líneas isogénicas A de sorgo. Campo Experimental UAAAN. Ciclo primavera-verano, 2022. ....	32
<b>Cuadro 6.</b> Comparación de medias de los caracteres agronómicos evaluados de líneas A de sorgo. Campo experimental UAAAN. Ciclo primavera-verano, 2022. ....	33
<b>Cuadro 7.</b> Cuadrados medios del análisis de varianza de siete características agronómicas de líneas B de sorgo. Campo Experimental UAAAN. Ciclo primavera-verano, 2022. ....	35
<b>Cuadro 8.</b> Comparación de medias de los caracteres agronómicos evaluados de líneas A de sorgo. Campo experimental UAAAN. Ciclo primavera-verano, 2022. ....	35
<b>Cuadro 9.</b> Cuadrados medios del análisis de varianza de siete características agronómicas de líneas restauradoras R de sorgo. Campo Experimental UAAAN. Ciclo primavera-verano, 2022. ....	37
<b>Cuadro 10.</b> Prueba de comparación de medias de las variables analizadas en líneas de sorgo restauradoras de la androfertilidad. Campo Experimental UAAAN. Ciclo primavera-verano, 2022. ....	38
<b>Cuadro 11.</b> Comparación de días a floración o sincronía floral de líneas isogénicas de sorgo A, B. Campo experimental UAAAN. Ciclo agrícola primavera-verano, 2022. ....	39
<b>Cuadro 12.</b> Comparación de días a floración en la siembra de grupos de líneas androestériles A y líneas restauradoras R, para la producción de semilla híbrida de sorgo. Campo Experimental UAAAN. Ciclo primavera-verano, 2022. ....	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Etapas de desarrollo y crecimiento del sorgo.....	11
<b>Figura 2.</b> Daños por gusano cogollero.....	12
<b>Figura 3.</b> Infestación de pulgón amarillo en sorgo.....	14
<b>Figura 4.</b> Ergot en panícula de sorgo.....	15
<b>Figura 5.</b> Presencia de roya en sorgo.....	17
<b>Figura 6.</b> Esquema de genotipos asociados a la androesterilidad para la producción de híbridos.....	21

## RESUMEN

El sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) es uno de los cereales que por sus características agronómicas y nutricionales puede aportar muchos beneficios en la alimentación, tanto humana como animal, a nivel mundial y nacional. La demanda mundial de cereales ha dirigido los esfuerzos del mejoramiento en la agricultura al desarrollo de nuevas variedades e híbridos con mayor rendimiento y capaces de cultivarse en zonas críticas, como una alternativa sustentable para cubrir las necesidades crecientes de los pueblos.

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar el comportamiento agronómico de líneas isogénicas A, B y líneas R de sorgo y su potencial de rendimiento de grano. Se utilizaron semillas de cinco líneas isogénicas A (androestéril), B (androfértil); diez líneas R (restauradoras de la fertilidad). El experimento se estableció en el ciclo agrícola primavera-verano de 2022, bajo condiciones de campo abierto, en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), bajo el diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones.

Se evaluaron siete variables agronómicas: días a floración (DF), altura de planta (AP), longitud de excursión (LE), longitud de panícula (LP), daños por aves (DA), enfermedades foliares (EF) y rendimiento de grano por planta (REN). Con la información colectada se realizó un análisis de varianza y la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) entre las medias de los tratamientos.

En esta investigación se encontraron algunos genotipos sobresalientes para algunas características agronómicas. Los pares isogénicas W A, W B presentaron mayor rendimiento, a pesar de ser el genotipo que presentó mayor incidencia de daño por aves.

El genotipo 1823 A se puede cruzar con el 90538 R y con el genotipo 10351 R, las tres líneas presentan mayor rendimiento y buena sincronía floral (mismo día).

Los genotipos W A y 150 R también presentan mayor rendimiento y sincronía floral (mismo día). El mismo progenitor femenino (W A) se puede cruzar con la línea 430 R, pero es un día más tardío que el progenitor masculino, por lo tanto, se puede obtener semilla híbrida experimental de sorgo para grano.

El mantenimiento de las líneas A y B, genero la producción de semilla en las líneas isogénicas evaluadas, lo cual permitirá en los próximos ciclos de producción, generar híbridos de sorgo para grano en la región sureste de Coahuila.

**Palabras clave:** Semilla, sorgo, líneas isogénicas, líneas restauradoras.

## I. INTRODUCCIÓN

El sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) es uno de los cereales que por sus características agronómicas y nutricionales puede aportar muchos beneficios en la alimentación, tanto humana como animal, a nivel mundial y nacional. La necesidad mundial de aumentar de manera sostenible la producción de cereales como una alternativa para contribuir a la seguridad alimentaria y cubrir las necesidades crecientes de la población, ha propiciado que los productores busquen mayores rendimientos en las áreas improductivas utilizando especies que se adapten a esas condiciones. El déficit de granos previsto a partir del 2050 será de 450 millones de toneladas anuales, lo cual equivale a 220 kg/ha per cápita, por lo que se hace necesario buscar estrategias para incrementar la producción con altos rendimientos (Pérez *et al.*, 2010).

Los principales países productores con 50.6% del total mundial, son: Estados Unidos con 17.4%, Nigeria 10.4%, Etiopía 8.0%, Sudán 7.7% y México con 7.2%. El principal incremento de la producción se prevé en Estados Unidos, el cual estima un aumento de 20.1% con relación a 2020/21, al ubicarse en 11.4 mdt. Otros aumentos importantes de la producción se prevén en Etiopía (15.1%, 683 mil toneladas), Argentina (13.0%, 430 mil toneladas) y México (8.1% 352 mil toneladas); (FIRA, 2022).

El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) al 31 de julio de 2022 reportó que, en el ciclo otoño-invierno 2021/2022, se han cosechado 830,997 hectáreas, 98% de avance respecto de las siembras, obteniendo un volumen de 2 millones 591 mil toneladas a nivel nacional. Tamaulipas ha producido 2,064,338 toneladas, 79.7% del total del ciclo; Nayarit 190,212, 7.3%; Sinaloa 128,897, 5.0%; y el resto de las entidades 207,150 toneladas, 8.0% del total (SIAP, 2022).

El crecimiento de la superficie sembrada se explica por las ventajas que ofrece el cultivo para la mecanización total, así como su gran adaptabilidad a diversos climas y suelos, además, las empresas de alimentos balanceados demandan una cantidad cada vez mayor de este producto, ya que se usa como principal insumo en la elaboración de los alimentos balanceados (Caamal, 2016).

De acuerdo con Salazar y colaboradores (2018), señalan que el sorgo es una fuente rica de nutrimentos constituida, principalmente, por polisacáridos (60-70%), seguidos de proteínas (8-12%), lípidos (2.8-3.6%), fibra (8%), minerales, vitaminas del complejo B y fotoquímicos (antioxidantes).

Según Vázquez (2023), el sorgo es un alimento popular para animales, así como un biocombustible emergente. Las hojas y tallos, por ejemplo, son fuentes útiles para elaborar etanol, un tipo de biocombustible. Muchas personas que consumen sorgo lo destacan por sus peculiaridades únicas, ya que es nutritivo para el organismo. También es libre de gluten, lo que lo convierte en una gran alternativa comparada con otros cereales de grano pequeño.

Como mencionan Pérez *et al.*, (2010) la demanda mundial de cereales ha dirigido los esfuerzos del mejoramiento en la agricultura al desarrollo de nuevas variedades e híbridos con mayor rendimiento y capaces de cultivarse en zonas críticas, como una alternativa sustentable para cubrir las necesidades crecientes de los pueblos.

Para la producción de semilla híbrida de sorgo se utiliza un sistema de tres líneas denominadas A, B y R; donde la A es androestéril y la B es androfértil; de tal forma que la progenie de la cruce A x B (línea A materna y B paterna), es estéril (Rao, 2002); la esterilidad masculina es el resultado de factores en el citoplasma, el cual es heredado en forma maternal y la línea B es isogénica que tiene un citoplasma normal, pero carece de genes restauradores, por lo cual, la cruce A x B permite mantener o incrementar la línea A, conservándose androestéril (Flores *et al.*, 2013).

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

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo general**

Evaluar el comportamiento agronómico de cinco pares de líneas isogénicas A, B y 10 líneas R de sorgo y su potencial de rendimiento de grano.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

Evaluar días a floración en antesis media, altura de planta, longitud de excursión, longitud de panícula y rendimiento de grano por panícula en líneas experimentales de sorgo para grano.

Evaluar la incidencia de enfermedades foliares e incidencia de daño por aves en etapa de madurez fisiológica final en genotipos de sorgo para grano.

## **1.2 Hipótesis**

Ho: La evaluación agronómica de las líneas en campo, no permitirá seleccionar genotipos de sorgo con potencial productivo en el ambiente evaluado.

Ha: La evaluación del comportamiento agronómico y rendimiento de grano de líneas progenitoras de sorgo, permitirá seleccionar al menos un genotipo con mayor adaptación y rendimiento de grano con respecto a otras líneas evaluadas.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Origen y distribución del cultivo de sorgo**

Los sorgos son nativos en ciertas regiones de África y Asia donde se han cultivado desde hace más de 2,000 años. Los sorgos se introdujeron por primera vez en los estados unidos y se cultivaron a lo largo de la costa del atlántico más o menos a mediados del último siglo. Desde esta región, los sorgos se extendieron hacia el oeste a regiones más secas y antes de 1900 se encontraban bien establecidos en las grandes llanuras del sureste y en california. Los sorgos para grano se cultivan extensamente en zonas que son demasiadas calurosas y demasiado secas para el maíz (Poehlman, 1979).

Como menciona Trujillo (1988) el sorgo fue introducido a México en el año de 1944. En 1960, el cultivo alcanzó una superficie de 116,000 hectáreas.

### **2.2. Importancia del cultivo de sorgo**

Menciona Ionita (2022) que en los países donde más se cultiva se utiliza como alimento, como forraje para animales o biocombustible. Hay que tener en cuenta que solo los granos de sorgo se pueden consumir, ya que las raicillas y los brotes frescos del sorgo germinado y sus extractos son tóxicos.

De acuerdo con De Benardi (2019), señala que entre las preferencias de los países productores del continente africano, especialmente en Etiopía y Somalia, al igual que en Asia, representados por India, Pakistán y China, suelen producirlo como recurso alimentario e ingrediente complementario de comidas típicas, entre



las que se encuentran tortillas, panes, entre otros productos alimenticios. El resto tiene como destino el forraje u otros derivados industriales.

Como menciona SAGARPA (2017) se cultiva para producir grano que sirve de alimento para el ganado. La mayor parte se utiliza en la preparación de alimentos balanceados, para hacer la harina de sorgo sola o en harinas compuestas para la fabricación de galletas, alfajores, bizcochos, pan, entre otros. En la industria de extracción se emplea fundamentalmente para la obtención de almidón, alcohol y glucosa; además, se usa en la fermentación aceto-butílica donde se producen tres solventes importantes: alcohol, acetona y butanol.

De los tallos de esta planta se pueden obtener otros productos como jarabes y azúcares. La producción de etanol constituye una fuente alternativa para la obtención de energía a partir de este cultivo. Así mismo, en la industria de panificación la harina de sorgo está en constante crecimiento, ya que se ha verificado que puede sustituir hasta en un 50% a la harina de trigo, en las mezclas para la elaboración de pan, sin alterar la calidad de éste (CENTA, 2007).

Tiene la particularidad de aportar grandes cantidades de rastrojo que tienden a mejorar la cobertura de los suelos. Además, presenta un sistema radical muy desarrollado y profundo que le permite muy buena exploración de perfil del suelo por un lado que contribuye a mejorar la estructura del mismo, ayudando a mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas. Debido a sus cualidades, el sorgo se presenta como una alternativa muy propicia para aquellos sistemas en que se necesita mantener las buenas condiciones de fertilidad, como así también es un cultivo ideal para sistemas de producción bajo siembra directa (PROAIN, 2020).

### **2.3. Clasificación taxonómica**

Martínez (2019) menciona que el cultivo de sorgo presenta la siguiente clasificación taxonómica.

**Reino:** Plantae

**Orden:** Poales

**Familia:** Poaceae

**Subfamilia:** Panicoideae

**Tribu:** Andropogoneae

**Género:** *Sorghum*

**Especie:** *S. bicolor*

### **2.4. Descripción Morfológica de la planta**

De acuerdo con Hermsen (2022) la estructura básica del sorgo se describe de la siguiente manera:

#### **2.4.1. Raíz**

La primera raíz, se desarrolla a partir de la radícula del embrión. Poco después de que la raíz primaria empieza a alargarse, también se desarrollan raíces seminales a partir del embrión, que emergen de la zona por encima de la radícula. Las raíces primarias y seminales son temporales y eventualmente mueren a medida que su función es asumida por raíces adventicias que se desarrollan a partir del tallo.

#### **2.4.2. Tallo**

El sorgo cultivado tiene un único tallo grueso que termina en una inflorescencia; la longitud del tallo varía, pero los cultivos de cereales pueden alcanzar aproximadamente 1 metro, mientras que los tipos de biomasa pueden

alcanzar más de 6 metros. El tallo tiene entre 15 y 17 hojas, según el tipo o variedad de sorgo. A diferencia de muchas otras gramíneas, el interior del tallo de sorgo es sólido tanto en las regiones de los nudos y entrenudos.

#### 2.4.3. Hojas

Las hojas de sorgo están organizadas como las hojas de otras gramíneas. Cada hoja consta de una vaina que envuelve el tallo y una hoja alargada que sobresale del costado del tallo e intercepta la luz del sol. El lugar donde se unen la vaina y la hoja es el collar. Las principales nervaduras de las hojas son paralelas. Las hojas carecen de aurículas, pero tienen lígulas. La última hoja del follaje del tallo (la hoja más alta) se llama hoja bandera.

#### 2.4.4. Flores

La inflorescencia del sorgo cultivado varía en forma y tamaño. Las espiguillas del sorgo están en su mayoría en pares, aunque las espiguillas en los extremos de las ramas están en grupos de tres. Cada par de espiguillas incluye una espiguilla pedicelada (con pecíolo) y una espiguilla sésil (sin pecíolo); Los grupos de tres espiguillas tienen una sésil y dos pediceladas.

Las espiguillas sésiles tienen una flor fértil. La flor fértil es bisexual, lo que significa que tiene estambres (estructuras masculinas o productoras de polen) y un pistilo (estructura femenina o productora de óvulos). Las espiguillas pediceladas son estériles o fértiles. Si son fértiles, las espiguillas pediceladas son masculinas.

#### 2.4.5. Semillas

Después de la polinización y fertilización, las flores fértiles maduran y se convierten en frutos. El fruto del sorgo es una cariósida (grano) que vienen en una variedad de colores.

Un grano de sorgo consta de un embrión y un endospermo, que sirve para alimentar al embrión una vez que comienza a convertirse en una plántula. La capa externa del endospermo es la capa de aleurona. El embrión y el endospermo están rodeados por un pericarpio delgado o pared del fruto.

## **2.5. Etapas de crecimiento y desarrollo**

Según Vanderlip (2000), el crecimiento y desarrollo del sorgo se divide en nueve etapas fenológicas (Figura 1). A continuación, se describen cada una de ellas.

### Etapa 0: Emergencia

Cuando la plántula emerge sobre la superficie del suelo, generalmente ocurre de 3 a 10 días después de la siembra. El tiempo requerido depende de la temperatura del suelo, las condiciones de humedad, la profundidad de plantación y vigor de la semilla. Durante este período el crecimiento depende de la semilla en cuanto a nutrientes y reservas de alimentos.

### Etapa 1: Etapa de tres hojas

Las hojas se cuentan cuando el collar (el lugar donde se unen la lámina y la vaina de la hoja) de la hoja se puede ver sin desgarrar la planta. El punto de crecimiento todavía está debajo de la superficie del suelo. Esta etapa generalmente ocurre aproximadamente 10 días después de la emergencia.

### Etapa 2: Etapa de cinco hojas

Aproximadamente tres semanas después de emerger, una planta de sorgo tiene 5 hojas completamente expandidas; su sistema de raíces se está desarrollando rápidamente y las raíces producidas en los nudos inferiores pueden empujar la hoja inferior fuera de la planta.

### Etapa 3: Diferencia del punto de crecimiento

Aproximadamente 30 días después del sorgo emerge, su punto de crecimiento cambia de vegetativo a reproductivo, el número total de hojas se ha determinado y pronto de determinará el tamaño potencial de la panícula. La absorción de nutrientes y la tasa de crecimiento es rápida.

### Etapa 4: Hoja bandera visible

Después de la diferenciación del punto de crecimiento ocurre un rápido crecimiento del tallo y de la hoja de manera simultánea. La hoja bandera es visible en el verticilo, aproximadamente el 80 por ciento del área foliar total está presente.

### Etapa 5: Emergencia de la panícula

Ahora todas las hojas están completamente expandidas, lo que proporciona máxima área foliar e intercepción de luz. La cabeza ahora se ha desarrollado casi hasta alcanzar su tamaño completo y está encerrada en la hoja bandera. Este estadio ocurre entre 50 y 60 días después de la emergencia.

### Etapa 6: 50% Floración

Todas las panículas emergieron y 50% de las plantas se encuentran en la etapa de floración, la cual comienza en la parte superior de la panoja, y desciende en un periodo de tiempo aproximadamente de 4 a 9 días, dependiendo del genotipo.

#### Etapa 7: Grano pastoso

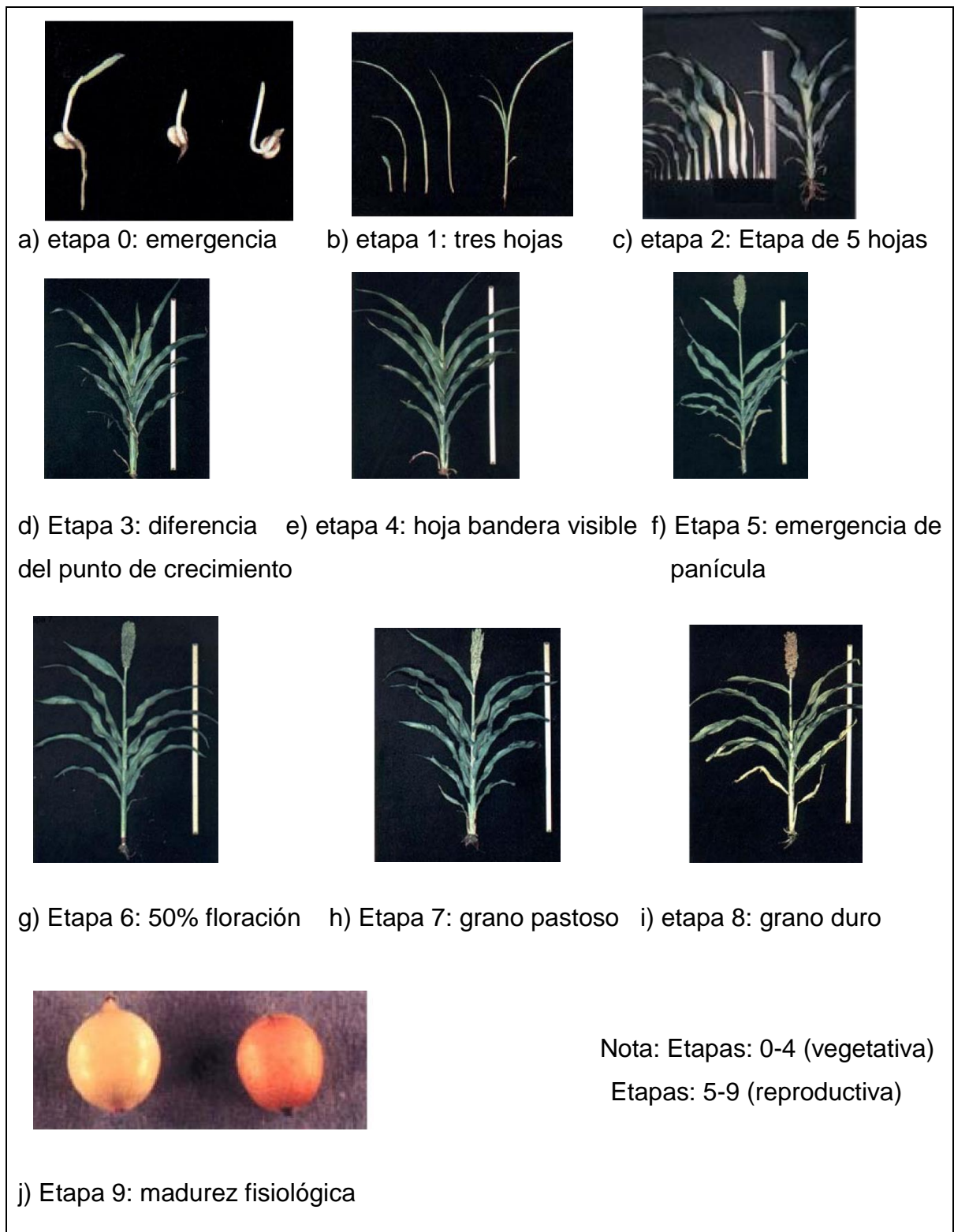
Entre la mitad de la floración y la masa blanda, el grano se llena rápidamente; aproximadamente la mitad acumula su peso seco en este periodo. El peso del tallo aumenta ligeramente después de la mitad de la floración; luego, debido a que el grano se forma rápidamente.

#### Etapa 8: Grano duro

Se han acumulado aproximadamente tres cuartas partes del peso seco del grano. El tallo ha disminuido a su peso. La absorción de nutrientes esenciales ha sido casi completada, es posible que se hayan perdido hojas inferiores.

#### Etapa 9: Madurez fisiológica

Peso seco total máximo de la planta ha ocurrido la madurez fisiológica se puede determinar mediante el punto negro en el lado opuesto del grano al embrión. El tiempo desde la floración hasta la madurez fisiológica, varía de acuerdo a las condiciones ambientales y el genotipo; sin embargo, representa aproximadamente un tercio del tiempo total desde la siembra. La humedad del grano en madurez fisiológica varía según el híbrido y las condiciones de crecimiento también suele estar entre el 25-35%.



**Figura 1.** Etapas de desarrollo y crecimiento del sorgo.

## 2.6. Principales plagas en el cultivo de sorgo

### 2.6.1. Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*)

Los huevos son depositados sobre las plantas, las larvas recién eclosionadas se alimentan de las hojas, las raspan y luego se introducen en el cogollo donde se alimentan hasta completar su ciclo. Las larvas se caracterizan por presentar una Y invertida en la cabeza y tener tres líneas blancas a lo largo del cuerpo y en la parte superior del último segmento abdominal tienen cuatro puntos que serían los vértices de un cuadrado. En determinadas condiciones, generalmente en siembras tardías las larvas causan daño en el tallo a nivel del suelo, realizan un orificio y cavan una galería ascendente, que puede dañar el punto de crecimiento (Stella, 2018).



**Figura 2.** Daños por gusano cogollero  
Fuente: INTAGRI, (2017).

### 2.6.2. Barrenador del tallo menor (*Elasmopalpus lignosellus*)

La larva se alimenta de plántulas luego de la emergencia, barrena en la base del tallo y a menudo daña el punto de crecimiento. El periodo de susceptibilidad del cultivo es corto (2-3 semanas). La presencia del insecto se detecta porque se comienzan a ver plantas marchitas. Luego las dos hojas centrales de la planta mueren. Al abrir transversalmente el tallo se observa la galería y la larva. Esta se caracteriza por tener bandas transversales oscuras y alcanzar un tamaño de 15 mm (Stella, 2018).



### 2.6.3. Gallina ciega (*Phyllophaga spp.*)

La gallina ciega es una plaga de la raíz, que se presenta generalmente en los sorgos bajo condiciones de temporal, aunque su incidencia no sea tan importante como en el maíz, suele representar pérdidas importantes. Es una plaga anual, el adulto es de color café y surge en cuanto la temporada de lluvias se ha establecido. La larva tiene forma de “C” y presentan dos hileras de espinas en el último segmento. Las larvas presentan tres estadios, el primero se alimenta de materia orgánica y los dos últimos estadios se alimentan de la raíz (CESAVEG, 2016).

### 2.6.4. Pulgón amarillo (*Melanaphis sacchari*)

El daño ocasionado en sorgo por *M. sacchari* depende de un gran número de factores, entre los que se incluyen las densidades de población y la duración de la infestación, el sorgo puede ser infestado por esta plaga, tan pronto como emerge la plántula, pero las infestaciones significativas se presentan durante las últimas etapas de crecimiento y en períodos secos. *M. sacchari* infesta el envés de las hojas, que muestra manchas rojas y manchas o rayas, posteriormente se tornan rojas o marrón rojizo. El insecto segrega sustancias azucaradas sobre la superficie de la hoja lo que lleva a moho o fumagina. El resultado final de la invasión es reducción de la calidad del producto y pérdida de rendimiento a la cosecha (SENASICA, 2014).



**Figura 3.** Infestación de pulgón amarillo en sorgo

#### 2.6.5. Mosquita de la panoja del sorgo (*Contarinia sorghicola*)

La mosquita de la panoja, también conocida como mosca “midge” (*Contarinia sorghicola*), es una de las plagas más comunes y que causa más daño a la producción de grano de sorgo. Se presenta desde el inicio hasta el final de la floración, lo cual ocurre entre abril y mayo en el norte de Tamaulipas. Las hembras de la mosquita de la panoja ponen de 50 a 100 huevecillos por día en las florecillas recién abiertas; dos o tres días después se desarrollan las larvas dentro de cada flor y terminan su crecimiento en 8 a 10 días, tiempo durante el cual causan daño al grano del cultivo y se transforman en pupas entre la cáscara y lo que dejan del grano. La pupa se transforma en adulto en tres a cinco días (INIFAP, 2020).

## 2.7. Principales enfermedades del sorgo

### 2.7.1. Ergot (*Claviceps africana*)

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 del 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 a 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 (INIFAP, 2008).



**Figura 4.** Ergot en panícula de sorgo

Fuente: (Reyes, 2015).

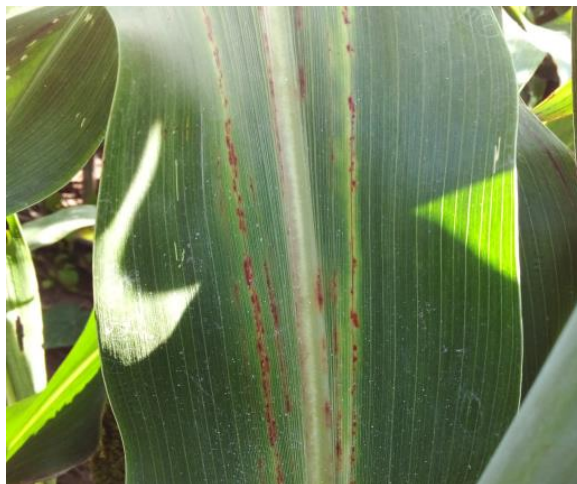
### 2.7.2. Antracnosis (*Colletotrichum graminicola*)

De acuerdo con Reyes (2015), la infección por antracnosis se puede propagar desde las hojas hacia los tallos o el tallo se puede infectar a través de las raíces. La marchitez de las hojas es común en etapas tempranas cuando quedan

residuos de cultivo de años anteriores. La infección ocurre cuando la lluvia salpica las esporas sobre las plántulas. Sobre la infección se presentan puntos redondos irregulares de apariencia turbia que después se vuelven de color amarillento. Más tarde se tornará de color café con contornos rojizos-cafés, los puntos se elongan y terminan uniéndose, aunque es común en las plántulas pueden resistir la marchitez de la hoja durante su desarrollo, hasta llegar a la etapa del llenado de grano, pero se vuelven susceptibles a las pudriciones de tallo.

### 2.7.3. Roya (*Puccinia purpurea*)

La roya es una de las enfermedades fúngicas que impactan la producción del sorgo en varias áreas de siembra con mayor incidencia en regiones con alta humedad relativa. Las plantas infectadas presentan manchas que se convierten en pústulas violáceas polvorientas de forma circular alargada ligeramente elevadas que se llenan de esporas. La roya causa pérdidas de rendimiento hasta de un 65% en el sorgo y su presencia predispone al sorgo a otros problemas de enfermedades importantes como la podredumbre del tallo de fusarium, la pudrición del carbón y mildiú del grano (Pierre, 2022).



## **Figura 5.** Presencia de roya en sorgo

### 2.7.4. Tizón de la panícula (*Fusarium* spp.)

El tizón de la panícula provocado por el hongo *Fusarium moniliforme*, es la segunda enfermedad de importancia en este cultivo. Este hongo afecta a las raíces, las hojas y el tallo, y su ataque favorece la disminución de los rendimientos, debido a que provoca la formación de granos pequeños y con poco peso. Las lesiones que causa este hongo en la planta consisten en manchas circulares o estrías elongadas de color rojo a púrpura, que varían de tamaño. Se diferencian de las lesiones que causa la antracnosis, porque cubren casi toda la parte interna del pedúnculo de la planta. También se puede confundir con el daño producido por un insecto conocido como candelilla o diatraea, pero en el caso de los ataques causados por *Fusarium* sp., no se observan las perforaciones en el tallo. La condición ambiental que favorece la presencia de esta enfermedad es la alta humedad relativa (Riera, 1999).

### 2.7.5. Podredumbre carbonosa del tallo (*Macrophomina phaseolina*)

Es la enfermedad más importante del sorgo en el norte de Tamaulipas, México, desde 1987, ya que afecta las siembras de temporal donde causa pérdidas de 20 a 30% de la producción (Williams *et al.*, 2004).

Los síntomas se presentan como pudrición radicular y del tallo, secado prematuro de las plantas, acame, pobre desarrollo de panículas con granos pequeños y de baja calidad. Estos síntomas suelen confundirse por daños por sequía. Además, la caída de plantas por acame dificulta la cosecha mecánica (Rush y Workneh, 2003).

## **2.8. Mejoramiento genético del sorgo y objetivos**

En la región del Bajío, hacia 1954 los investigadores de la OEE (Oficina de Estudios Especiales) iniciaron las labores de adaptación de variedades Texasas y Africanas, para luego proceder a la selección y mejoramiento con la intención de crear variedades de alto rendimiento. Se pensaba, de inicio, que, igual que en el caso del maíz las variedades de sorgo estadounidenses, no se adaptarían a los campos mexicanos. Muy pronto, en 1956, los científicos publicaron los resultados de sus investigaciones, en las que demostraban que las variedades híbridas Texasas se adaptaban a las condiciones agroecológicas del Bajío mexicano, presentando un excelente desempeño con labores de adaptación mínimas, si se compara con los esfuerzos realizados respecto al maíz. Así, las variedades de sorgo híbrido estadounidense pudieron difundirse y cultivarse muy pronto en los campos abajeños (Gutiérrez, 2019).

Dentro de los principales objetivos que se plantean en las instituciones en el mejoramiento del cultivo se pueden mencionar; mayores rendimientos, amplia adaptación a distintos ambientes, resistencia o tolerancia a calor y sequía, toxicidad a aluminio, suelos ácidos, resistencia a enfermedades y plagas más importantes del cultivo, resistencia al ataque de pájaros, entre otros (Simón *et al.*, 2016).

## **2.9. Androesterilidad en sorgo**

Según Clará (1980) señala que hay plantas que presentan incapacidad de producir semillas, pero es importante hacer la distinción entre la esterilidad y la incompatibilidad. Cuando existe un fallo funcional de las anteras o el polen se le conoce como esterilidad masculina o androesterilidad. La esterilidad de los gametos masculinos, se vuelven no funcionales por efecto de los genes mutantes de los múltiples loci que controlan las diferentes etapas de formación de polen en el núcleo de la célula, por los factores citoplásmicos o por el efecto combinado de ambos ya

que la androesterilidad, según su forma como esté controlada puede ser: genética, citoplasmática y genética citoplasmática.

La línea androestéril se emplea como línea femenina porque el citoplasma se transmite solo mediante la célula huevo. Después de lograr la conversión en androesterilidad, la línea se designa línea A. La línea A y su línea B polinizadora son idénticas en cuanto a genotipo, pero tienen citoplasmas distintos (Poehlman, 2005).

La producción de semilla híbrida en diversas especies de cultivos fueron posibles gracias a la identificación y caracterización de un mecanismo de esterilidad masculina citoplasmática (CMS) estable y hereditario. El CMS es un defecto heredado de la madre en el que, como resultado de interacciones nucleares y mitocondriales específicas, las plantas no pueden producir polen funcional o garantizar una dehiscencia normal de las anteras, sin afectar la fertilidad femenina (Duvick, 1959).

Para mejorar genéticamente el sorgo, primero se evalúan nuevas líneas progenitoras con respecto al uso como líneas femeninas o líneas masculinas. Las líneas de sorgo que poseen genes restauradores de la fertilidad no pueden utilizarse como líneas B o convertirse en líneas A androestériles. Una línea B se convierte en una línea A androestéril transfiriendo sus cromosomas al citoplasma estéril mediante una serie de retrocruzamientos en los que la línea que va a esterilizarse es el progenitor recurrente y masculinos en todos los cruzamientos (Poehlman, 2005).

## **2.10. Tipos de líneas en sorgo**

En sorgo existen tres tipos de líneas que se utilizan en la formación de la semilla híbrida (Williams *et al.*, 1988) las cuales se describen a continuación:

Línea A. Esta línea es androestéril; es decir, no produce polen. Usualmente se le conoce como “hembra” en los lotes de producción de semilla.

Línea B. Esta línea es mantenedora de la esterilidad; es decir produce polen, pero el citoplasma es estéril. Esta línea es idéntica a la línea A y se utiliza en la producción de semilla de la línea A, cuya descendencia será estéril.

Línea R. Esta línea es restauradora de la fertilidad ya que produce polen. Comúnmente se le conoce como “macho” en la producción de semilla híbrida.

### **2.11. Incremento y mantenimiento de líneas A, B y R**

De acuerdo con Begna (2022) menciona que las líneas A, así obtenidas por medio de retrocruzamiento pueden sembrarse alternativamente con las respectivas líneas B, y el polen de las respectivas líneas B colectado en bolsas separadas, puede colocarse sobre las panículas androestériles con los estigmas emergidos. Las bolsas deben agitarse bien antes de la polinización, estas panículas masculinas estériles deben embolsarse como en la autofecundación para evitar el cruzamiento con polen de padres no deseados.

Las líneas B y R deben ser autofecundadas. La semilla acumulada dentro de las líneas A será la semilla de la línea A. La semilla de la línea B acumulada dentro de la línea formará la semilla de la línea B. De este modo se mantienen las líneas A y B (Begna, 2022). La línea B tiene una forma recesiva de gen restaurador de la fertilidad y se utiliza como mantenedor de la línea A (Mamo *et al.*, 2023).

### **2.12. Formación de híbridos**

De acuerdo con Carvajal (1978), menciona que los factores a considerar en la producción de semilla híbrida de sorgo son:

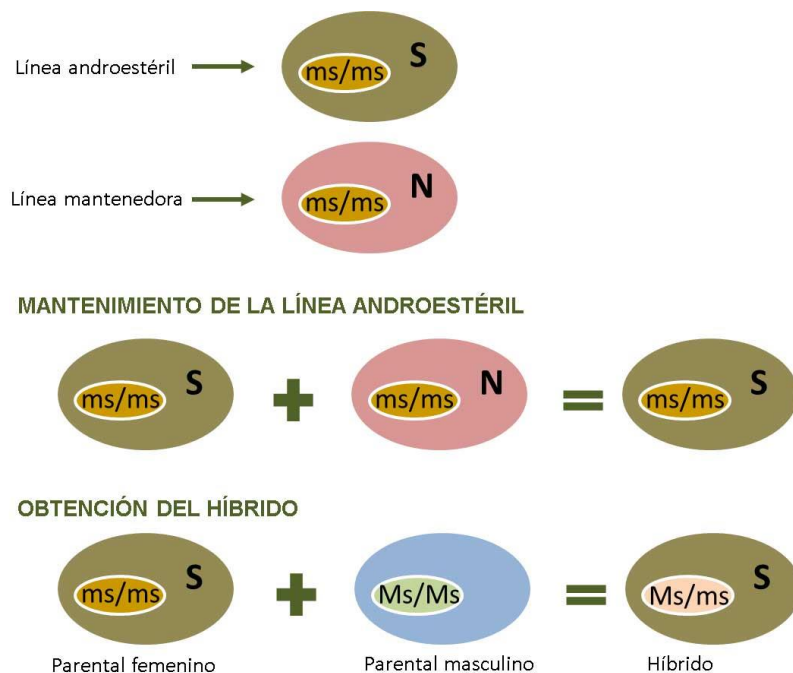
- a. El rendimiento potencial de la línea A androestéril.
- b. La capacidad de producir polen de la línea R restauradora.
- c. Fechas de la floración de las líneas A y B.
- d. Reserva de la semilla genética de las tres líneas
- e. Mantener un buen aislamiento.



- f. Eliminar plantas fértiles en la parcela de los progenitores femeninos

La hibridación a nivel comercial solo se logra haciendo el uso de la esterilidad genético-citoplásmica. Tres recursos genéticos son necesarios para lograr el objetivo antes mencionado: línea A, línea B, y línea R.

La línea R es androfértil, posee genes restauradores de la fertilidad y se combina con una línea A para producir semilla híbrida de cruce simple. Por otro lado, una buena sincronización de la floración entre progenitores masculino y femenino es de suma importancia para asegurar una eficiente polinización y con ello disminuir el porcentaje de infección del ergot del sorgo en lotes de producción de semilla (Flores *et al.*, 2013).



**Figura 6.** Esquema de genotipos asociados a la androesterilidad para la producción de híbridos

Fuente: Mallor y Garcés, (2015).

De esta forma, la planta obtenida por el agricultor al sembrar la semilla híbrida es perfectamente normal. El grano obtenido por el agricultor, no debe utilizarse para siembra, pues la variedad segrega. Esta segregación se manifiesta en un descenso

de la producción y en la aparición de plantas deformes y alturas distintas, plantas estériles, panojas de formas diferentes y granos de variados colores. Todo ello hace que se pierda completamente la uniformidad en floración, maduración y altura, requisitos esenciales para la mecanización del cultivo (Besnier, 1962).

La línea R es androfértil, posee genes restauradores de la fertilidad y se combina con la línea A para producir un híbrido vigoroso de cruzamiento simple. La semilla híbrida de cruzamiento simple (A x R) es sembrada por el agricultor. El polen del sorgo llevado por el viento puede recorrer grandes distancias, por lo que para reducir la contaminación se requiere un aislamiento de 200 m de otros campos de sorgo (Poehlman, 2005).

En México la disponibilidad de semilla de sorgo para siembra depende prácticamente de la híbrida importada y su costo en el mercado es cada vez más alto. Por lo tanto, se utiliza la semilla híbrida que es producida principalmente en los EEUU y comercializada en México, lo que indica que nuestro país es dependiente de este insumo (Flores *et al.*, 2013).

### **2.13. Aislamiento**

Según Argueta (2002) para asegurar la pureza varietal de las líneas parentales y del híbrido se debe supervisar los lotes antes y durante la floración y antes de la cosecha de la semilla genética, básica y la semilla híbrida. Los factores a tomar en cuenta en la inspección son las distancias de aislamiento, presencia de plantas atípicas y malezas nocivas.

**Cuadro 1.** Distancia mínima de aislamiento del lote de producción de semilla respecto a especies en variedades para grano, forrajeras y escobera.

Propósito	Cultivos	Distancia mínima en metros por categoría de semilla			
		Básica	Registrada	Certificada	Habilitada
Grano	S. grano	500	500	300	300
	S. forraje	500	500	300	300
	S. escobero	5000	5000	300	300
	S. Jhonson	600	600	500	500
	S. sudán	1000	1000	1000	1000
	S. grano	500	500	300	300
Forrajero	S. forraje	500	500	300	300
	S. escobero	5000	5000	300	300
	S. Jhonson	600	600	500	500
	S. Sudán	1000	1000	1000	1000
	S. grano	400	400	300	300
	S. forraje	500	500	300	300
Escobero	S. escobero	5000	5000	5000	5000
	S. Jhonson	400	400	300	300
	S. Sudán	600	600	400	400
	S. grano	500	500	300	300

Fuente: SNICS, 2018

#### 2.14. Composición nutricional del sorgo

De acuerdo con Pérez (2020) afirma que a pesar de no ser tan conocido, y ser un grano de cereal subestimado por la mayor parte de la población occidental (posiblemente por desconocimiento), la realidad es que el sorgo es rico en nutrientes, incluyendo vitaminas del grupo B, que desempeñan un papel fundamental en el desarrollo neuronal, el metabolismo, y la salud tanto del cabello como de la piel; o magnesio, un mineral imprescindible para el corazón, la formación de los huesos.

También aporta antioxidantes, como taninos, flavonoides y ácidos fenólicos. Diversos estudios científicos mencionan que una dieta rica en antioxidantes puede ayudar a reducir el estrés oxidativo causado por los radicales libres, y disminuir la inflamación en el organismo. Además, el sorgo por su alto contenido en fibra, ayuda a promover la salud intestinal, mejora el tránsito, ayuda a controlar el peso y, finalmente, estabiliza los niveles de azúcar en la sangre.

**Cuadro 2.** Composición nutricional del sorgo en 100 gramos (el equivalente a media taza).

Energía	Valor en 100 g
Calorías	329 kcal
Hidratos de carbono	72 g
Proteínas	10 g
Grasa	3 g
Fibra	6 g

Fuente: (Pérez, 2020)

De acuerdo con Pérez (2020), menciona que si se compara la composición nutricional del sorgo y el trigo es bastante similar, tanto en calorías como en proteínas, pasando también por los carbohidratos, las grasas y la fibra. Pero con una diferencia importantísima: el sorgo posee un índice glucémico menor (bajo, con un IG de 62), y no contiene gluten.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Localización del sitio experimental

El presente trabajo de investigación se estableció durante el ciclo agrícola primavera-verano, 2022, bajo condiciones de campo abierto en las instalaciones de la UAAAN, en el Campo Experimental “Bajío” en Buenavista, Saltillo, Coahuila, el cual se encuentra ubicado a una latitud de 25° 21'36" N, longitud de 101°02'14" W y a una altitud de 1731 msnm (Google Earth, 2023). Las características de la parcela a nivel de campo se presentan en el Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Descripción de la parcela experimental

Localidad	UAAAN
Diseño	Bloques al azar
Número de repeticiones	3
Fecha de siembra	26 mayo de 2022
Régimen hídrico	Riego por cintilla
Número de genotipos	20
Número de surcos por parcela	1
Número de matas por surco	50
Longitud de surco (m)	5
Distancia entre surcos (m)	0.80
Distancia entre matas (m)	0.10
Fertilización	20-20-20 y 20-30-10
Densidad de población (plantas por hectárea)	125 000

#### 3.2. Germoplasma utilizado

Para la realización de esta investigación se utilizaron semillas de cinco líneas isogénicas A (androestéril), B (androfértil); diez líneas R (restauradoras de la

fertilidad), los cuales pertenecen al Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS) del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). En el Cuadro 4 se presentan las líneas isogénicas A, B y líneas R evaluadas en el experimento.

**Cuadro 4.** Líneas experimentales de sorgo utilizadas en el trabajo de investigación.

Número	Líneas isogénicas	Número	Líneas restauradoras
1	1831 A	11	150 R
2	2921 A	12	150 R cera
3	1823 A	13	151 R
4	398 A	14	154 R
5	W A	15	162 R
6	1831 B	16	TX430 R
7	2921 B	17	TX435 R
8	1823 B	18	TX278 R
9	398 B	19	10351 R
10	W B	20	90538 R

### 3.3. Manejo agronómico

#### 3.3.1. Preparación del terreno

La preparación del terreno consistió en las labores tradicionales utilizadas para el establecimiento de cereales de grano pequeño en las regiones donde se siembra bajo condiciones de riego. El barbecho se realizó a una profundidad de 20-30 cm, posteriormente se realizaron tres pasos de rastra para romper todos los terrones que quedaron expuestos en la parte superficial del suelo después de esas operaciones se trazaron los surcos.

Para medir las parcelas se utilizó una cinta métrica de 50 metros y se marcó con cal, manualmente para la delimitación de las parcelas y bloques experimentales.

### 3.3.2. Siembra

La siembra se realizó directamente en campo el 26 de mayo de 2022, todos los genotipos el mismo día, se colocaron las semillas aproximadamente tres veces de profundidad del tamaño de la semilla, luego se cubrió con tierra.

Después de haber terminado la siembra se procedió a colocar la cintilla, para el suministro del riego por goteo, posteriormente se verificó su instalación correcta y se aplicó el riego a la parcela experimental.

### 3.3.3. Desmezcle

Se llevó a cabo la actividad de desmezcle que consiste en eliminar plantas atípicas (plantas de otras variedades o genotipo) durante el proceso de producción de semilla, de lo contrario se tendrá mezcla de semillas que la semilla obtenida, no es lo que se espera y la información será errónea. Con la observación visual se fueron identificando y eliminando las plantas que no pertenecían a la parcela experimental de sorgo.

### 3.3.4. Fertilización

Se realizó la fertilización de fondo a base de NPK (20-30-10) un mes después de la siembra, posteriormente la fertilización foliar con macronutrientes (20-20-20) y micronutrientes a una dosis de 2.5 ml/L mezclando con adherente/dispersante a una dosis de 1.5 ml/L.

### 3.3.5. Control de malezas

Se realizó el control manual, eliminando todo tipo de maleza dentro de las parcelas, procurando que las malezas no compitieran con el cultivo. Posteriormente, se aplicó un herbicida que tiene como ingrediente activo Paraquat a una dosis de 2

ml/L acompañado de adherente, para elevar la efectividad en el control de las malezas.

#### 3.3.6. Control de plagas y enfermedades

Cuando se presentó el gusano cogollero se aplicó el producto de ingrediente activo Spinetoram, contra el gusano cogollero a una concentración de 1.5 ml/L.

Se realizó la aplicación contra el pulgón amarillo, mediante el insecticida con ingrediente activo Clorpirifos etil, a una dosis de 1.5/L.

#### 3.3.7. Polinización de líneas isogénicas A, B y R (restaurador) de sorgo

Para tener suficientes semillas para el próximo ciclo agrícola se realizó el incremento de las líneas isogénicas A, B mediante polinización de forma manual para cada línea A, con polen de su línea isogénica B. Antes de realizar las cruzas se procedió a cubrir las panículas con una bolsa de glacié, antes de la apertura de las flores de la misma manera se procedió con las líneas B unos días antes del inicio de la antesis para evitar la contaminación. Cuando las panículas de la línea A, habían alcanzado como mínimo un 90 % de estigmas receptivos se procedió a realizar la polinización con polen de la línea isogénica B correspondiente, las panículas de la línea B se mantuvieron cubiertas para autofecundación e incremento de semilla. En el incremento de las líneas R, también se cubrió las panículas, antes de la antesis y estigmas receptivas con la finalidad de que ocurra la autopolinización, sin contaminación por fuentes de polen no deseado.

#### 3.3.8. Cosecha

La cosecha se realizó manualmente en el mes de noviembre de 2022 cuando el contenido de humedad se encontraba a un 13% aproximadamente, para esta actividad se utilizaron herramientas como tijeras de podar y hoz, posteriormente se



agruparon las panículas por línea y por bloque, para que no se mezclaran, posteriormente se trasladaron a la bodega para su trilla y continuar con su proceso de acondicionamiento de la semilla.

#### 3.3.9. Trilla de las semillas

La trilla se realizó de forma manual durante el mes de enero del 2023, esta actividad consistió en separar los granos de las panículas con la ayuda de una caja de madera y un pedazo de madera, con estas herramientas también se realizó la separación de las glumas de los granos.

Se utilizó un ventilador convencional, para facilitar la limpieza de la semilla experimental, también se separaron granos dañados, posteriormente se colocaron las semillas en sobres de papel colocando sus respectivos datos, para la identificación de la semilla.

### **3.4. Variables evaluadas**

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

#### 3.4.1. Días a floración (DF)

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

#### 3.4.2. Altura de la planta (AP)

Se midió esta variable con la ayuda de una regla de madera graduada en centímetros, se midió desde la base del tallo, hasta la parte apical de la panícula, expresándose el promedio en cm en etapa de madurez fisiológica del grano.

#### 3.4.3. Longitud de excursión (LE)

Se midió utilizando una regla metálica de 30 centímetros, desde la hoja bandera hasta el punto de inserción de la panícula.

#### 3.4.4. Longitud de panícula (LP)

Esta variable se midió con una regla metálica de 30 cm, desde la base de la primera rama primaria, hasta la parte apical de la panícula.

#### 3.4.5. Daños por aves (DA)

Se midió en forma visual expresando en porcentaje de 0 al 100%

#### 3.4.6. Enfermedades foliares (EF)

Se evaluó en 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 la toma de datos de (EF), se realizó de acuerdo a las recomendaciones sugeridas por (House,1985).

#### 3.4.7. Rendimiento de grano por planta (REN)

Por último, después de la trilla se determinó el peso total dividido entre el número de panículas por parcela, para estimar el rendimiento de grano en gramos por planta, se colocaron en bolsas de papel transparente con su respectiva etiqueta y se pesaron en una balanza analítica (AND modelo HR-200) y el resultado se expresó en gramos por planta ( $\text{g planta}^{-1}$ ).

### 3.5 Análisis estadístico

Para la evaluación de 20 genotipos de sorgo (*Sorghum bicolor*) y 7 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.

$\mu$  = Media general del carácter en estudio.

$t_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo tratamiento.

$\beta_j$  = Efecto del  $j$ -ésimo bloque.

$\varepsilon_{ij}$  = 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.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Líneas A de sorgo

Al realizar los análisis de los datos para las variables días a floración (DF), longitud de excursión (LE) y longitud de panícula (LP) se presentaron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre los genotipos evaluados.

Las variables agronómicas que presentaron bajos coeficientes de variación fueron DF, AP, LP, (C.V.= 0.86-8.04%) por otra parte, para las variables LE, DAT, EF y REN, fueron altas (C.V.= 22.77-42.59%).

**Cuadro 5.** Cuadrados medios del análisis de varianza de siete características agronómicas de líneas isogénicas A de sorgo. Campo Experimental UAAAN. Ciclo primavera-verano, 2022.

F.V.	G.L.	Cuadrados Medios						
		DF (días)	AP (cm)	LE (cm)	LP (cm)	DAT(%)	EF (1-5)	REN (g)
Gen	4	9.73 **	162.2	37.33 **	19.16 **	2.67	0.26	234.00
Bloque	2	0.26	157.3	5.60	10.86 *	1.75	0.80	155.40
Error	8	0.43	109.4	5.18	1.86	0.83	0.46	107.40
Total	14							
C.V. (%)		0.86	8.04	22.77	5.32	42.59	37.95	28.52
$\bar{x}$		76.07	130.07	10.00	25.67	2.15	1.80	36.33

F.V.=Fuentes de variación, G.L.=Grados de libertad, Gen=Genotipos, DF= días a floración, AP= altura de planta, LE= longitud de excursión LP= longitud de panícula, DAT=daños por aves (transformado), EF= enfermedades foliares, REN= rendimiento. \*\*Significativo al 1% de probabilidad. \*significativo al 5% de probabilidad. C.V.%= coeficiente de variación,  $\bar{x}$ = media.

En la comparación de medias (cuadro 6) para días a floración, hay diferencias estadísticas entre los genotipos, se observa que el genotipo 1823 A es más precoz con respecto a los demás genotipos, el genotipo más tardío fue el 398 A.

Las flores comienzan a abrirse dos días después de que la panícula del sorgo, emerge de la hoja bandera. La floración máxima ocurre el tercer o cuarto día y después de seis días es el tiempo para que florezca completamente, toda la inflorescencia (aunque esto podría tomar de 4 a 13 días, dependiendo del genotipo). La floración (la emergencia de la antera y estigma) comienza a media noche y dura hasta las 10 am ocurriendo la mejor floración entre las 6 y las 8 am (Sobetski, 2015).

**Cuadro 6.** Comparación de medias de los caracteres agronómicos evaluados de líneas A de sorgo. Campo experimental UAAAN. Ciclo primavera-verano, 2022.

Gen	DF (días)	AP (cm)	LE (cm)	LP (cm)	DA (%)	EF (1-5)	REN (g)
1831 A	75.3 B	137.7 A	10.3 A B	30.0 A	3.3 A	1.3 A	34.0 A
1823 A	73.3 C	131.0 A	8.0 B	25.0 B	5.0 A	2.0 A	42.4 A
2921 A	76.7 A B	127.3 A	9.7 A B	25.0 B	1.7 A	1.7 A	36.3 A
398 A	78.0 A	135.3 A	15.7 A	23.3 B	1.7 A	2.0 A	23.0 A
W A	77.3 A B	119.9 A	6.3 B	25.0 B	13.3 A	2.0 A	45.9 A

Gen=Genotipos, DF= días a floración, AP= altura de planta, LE= longitud de excersión, LP= longitud de panícula, DA= daños por aves, EF= enfermedades foliares, REN= rendimiento.

Para la variable altura de la planta, no se presentaron diferencias estadísticas, por lo tanto, en las líneas A existe muy poca diferencia en la altura. El genotipo 1831 registró una altura de 137.7 cm.

De acuerdo, a las comparaciones de medias para la variable longitud de excersión, los genotipos 398 A, 1831 A y 2821 A fueron estadísticamente iguales y superiores a otras líneas, el genotipo 398 A presentó una longitud de excersión mayor comparando con el resto lo que significa que es el mejor para esta característica ya que es más fácil y conveniente para la cosecha mecanizada, ya que así no se lleva parte del tallo perdiendo la calidad del grano, los granos van limpios para la comercialización, los genotipos 1823 A y W A mostraron una longitud bastante pequeña, estos genotipos pueden presentar problemas al momento de la cosecha mecánica.

Las medias indican que el genotipo 1831 A presenta una longitud de panícula mayor y es estadísticamente diferente con respecto a los otros genotipos, en

algunos casos es conveniente tener panículas de mayor longitud por que pueden tener un alto rendimiento de grano.

El impacto del consumo del grano de sorgo, por las aves es un problema común en varias regiones del mundo, principalmente en regiones tropicales. En general estos cultivos son atacados por un gran número de aves atraídas no sólo por los recursos que éstos ofrecen, sino también por el fácil acceso a sus panículas y el sabor y contenido nutricional del grano (De Melo y Cheschini, 2012).

El daño por aves en este experimento, no se encontraron diferencias estadísticas, pero por otro lado los genotipos 2921 A y 398 A, fueron los que sufrieron menos daño por aves, lo cual indica que el rendimiento es menos afectado por esta plaga, el más afectado fue el genotipo W A, lo cual no es un buen parental para la formación de híbridos.

Las enfermedades foliares pueden afectar el rendimiento del cultivo, al presentarse en los cultivos disminuye la actividad fotosintética, por lo tanto, se ve reflejado en el rendimiento de grano.

Con la comparación de medias se observa que la incidencia de las enfermedades foliares fue estadísticamente igual, para todos los genotipos de este experimento. La línea 1831 presento las hojas con mayor sanidad.

Para la variable rendimiento se puede observar, que no hay diferencias estadísticas, cabe mencionar que el genotipo W A presentó un rendimiento de 45.9 g por panícula.

#### **4.2. Líneas B de sorgo**

Mediante el análisis de varianza se detectó diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre tratamientos para las variables días a floración (DF), altura de planta (AP), longitud de exersión (LE), longitud de panícula (LP), incluyendo daños por aves (DA), el resto de las variables fueron estadísticamente iguales. Las variables DF, AP y LP evaluadas presentaron bajos coeficientes de

variación (C.V.= 0.89-5.38%), las variables LE, DA, EF, y REN fueron altos (C.V.=17.04-26.67%).

**Cuadro 7.** Cuadrados medios del análisis de varianza de siete características agronómicas de líneas B de sorgo. Campo Experimental UAAAN. Ciclo primavera-verano, 2022.

F.V.	G.L.	Cuadrados Medios						
		DF(días)	AP (cm)	LE (cm)	LP (cm)	DA (%)	EF (1-5)	REN (g)
Gen	4	18.27 **	362.57**	136.67**	21.57 **	454.17**	0.43	111.59
Bloque	2	0.47	9.80	0.47	2.74	245.00*	0.27	111.57
Error	8	0.47	30.22	5.79	1.97	36.67	0.18	161.94
Total	14							
C.V. (%)		0.89	4.35	17.04	5.38	24.22	22.99	26.67
$\bar{x}$		76.53	126.4	14.33	26.06	25	1.86	47.70

F.V.=Fuentes de variación, G.L.=Grados de libertad, Gen=Genotipos, DF= días a floración, AP= altura de planta, LE= longitud de exersión LP= longitud de panícula, DA=daños por aves, EF= enfermedades foliares, REN= rendimiento. \*\*Significativo al 1% de probabilidad. \*significativo al 5% de probabilidad. C.V.%= coeficiente de variación,  $\bar{x}$  =media.

En la comparación de medias (Cuadro 8) para la variable días a floración el genotipo 1823 B es estadísticamente diferente al resto de los genotipos lo cual significa que es más precoz, los más tardíos fueron 2921 B, 398 B y W B.

**Cuadro 8.** Comparación de medias de los caracteres agronómicos evaluados de líneas A de sorgo. Campo experimental UAAAN. Ciclo primavera-verano, 2022.

Gen	DF(días)	AP (cm)	LE (cm)	LP (cm)	DA (%)	EF (1-5)	REN (g)
1831 B	75.00 B	139.33 A	14.67 B	28.33 A	35.00 A B	1.67 A	41.67A
1823 B	73.00 C	136.0 A B	10.00 B	29.00 A	21.67 B	2.00 A	47.57 A
2921 B	79.00 A	123.0 B C	8.67 B	26.33 A B	18.33 B	2.33 A	44.00 A
398 B	78.0 A	120.67 B C	25.67 A	23.33 B	10.00 C	1.33 A	47.67A
W B	77.67 A	113.0 C	12.67 B	23.33 B	40.00 A	2.00 A	57.63 A

Gen=Genotipos, DF= días a floración, AP= altura de planta, LE= longitud de excersión LP= longitud de panícula, LE= longitud de excersión, REN= rendimiento.

Para la variable altura de la planta (AP) se encontró diferencias estadísticas los genotipos 1831 B y 1823 B fueron iguales y superiores estadísticamente ya que

presentaron mayor altura, el genotipo W B presentó una baja altura con respecto a los otros genotipos.

La longitud de la excersión (LE) es otra variable en donde se encontró diferencias estadísticas, el genotipo 398 B fue demostró ser superior con respecto a los otros genotipos, esta característica es mejor para la cosecha mecanizada. A su vez, el genotipo 2921 B presento excersión carta.

Tomando en cuenta las medias para la variable longitud de la panícula (LP) mostró diferencias estadísticas, los genotipos 1831 B y 1823 B y 2921 B, fueron iguales y superiores a los demás.

Los daños por aves (DA) el genotipo 398 fue estadísticamente diferente al resto, por presentar menor daño por aves (10%), por otra parte, los genotipos W B y 1831 B son iguales estadísticamente presentaron mayor daño de esta plaga, lo cual es una opción de seleccionar como mantenedor de la línea A para la obtención de semilla híbrida.

Para las enfermedades foliares (EF) no se encontró diferencias estadísticas entre los genotipos, todos los materiales presentan baja incidencia de enfermedades foliares, el genotipo 398 presentó baja incidencia de enfermedades foliares (1.33), cabe mencionar que el genotipo 2921 B presentó mayor incidencia de enfermedades foliares.

La producción de grano y forraje, así como el valor nutritivo del cultivo, son afectados negativamente por diversas enfermedades. La importancia relativa de cada una, en cada región y ciclo agrícola, dependerá de las condiciones ambientales, genotipos utilizados, manejo agronómico, razas o biotipos del patógeno, así como de la interacción de cualquiera de estos factores (Giorda, 1997).

La variable rendimiento (REN) no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los genotipos, se observó que el genotipo W B fue el mayor rendidor de grano con 57.60 g por planta. Lo que convierte en una opción a seleccionar y usar como mantenedor de la línea A para la formación de híbrido.



### 4.3. Líneas R de sorgo

En el análisis de varianza para las líneas restauradoras de la androfertilidad, se detectaron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre tratamientos, para todas las variables, Las variables evaluadas presentaron bajos coeficientes de variación (C.V. = 1.13-18.73 %), a excepción de la evaluación de daños por aves que presentó un coeficiente de variación (C.V. = 87.08 %).

**Cuadro 9.** Cuadrados medios del análisis de varianza de siete características agronómicas de líneas restauradoras R de sorgo. Campo Experimental UAAAN. Ciclo primavera-verano, 2022.

F.V.	G.L.	Cuadrados Medios						
		DF (días)	AP (cm)	LE (cm)	LP (cm)	DAT (%)	EF (1-5)	REN (g)
Gen	9	22.15 **	1616.98**	26.82**	26.52**	388.52**	0.31*	446.38**
Bloque	2	0.23	52.93	0.23	5.63*	30.83	1.23**	35.19
Error	18	0.75	37.27	2.86	1.07	24.35	0.12	52.55
Total	29							
C.V. (%)		1.13	4.95	14.26	4.19	87.08	18.73	12.76
$\bar{x}$		76.43	123.13	11.87	24.77	5.67	1.87	56.77

F.V.=Fuentes de variación, G.L.=Grados de libertad, Gen=Genotipos, DF= días a floración, AP= altura de planta, LE= longitud de excursión LP= longitud de panícula, DAT=daños por aves (transformado), EF= enfermedades foliares, REN= rendimiento. \*\*Significativo al 1% de probabilidad. \*significativo al 5% de probabilidad. C.V.%= coeficiente de variación,  $\bar{x}$ = media.

En la comparación de prueba de medias para las líneas R (Cuadro 10), se puede observar que los genotipos 10351 R y 90538 R son las más precoces y las que obtuvieron un mayor rendimiento de grano, en contraste con las líneas (151 R) y (154 R) que fueron estadísticamente ( $p \leq 0.05$ ) las más tardías y de menor rendimiento, la línea TX435 R es muy tardío, aunque si presenta un rendimiento considerable.

**Cuadro 10.** Prueba de comparación de medias de las variables analizadas en líneas de sorgo restauradoras de la androfertilidad. Campo Experimental UAAAN. Ciclo primavera-verano, 2022.

Gen	DF (días)	AP (cm)	LE (cm)	LP (cm)	DA (%)	EF (1-5)	REN (g)
10351 R	72.67 D	165.67 A	12.00 B C	26.67 A B	36.67 A	2.00 A	69.12 A B
90538 R	73.00 D	159.00 A	13.00 B C	24.00 B C	00 B	1.67 A	76.15 A
162 R	74.67 C D	128.33 B	8.67 C	26.00 A B	1.67 B	1.67 A	56.51 A B
154 R	80.33 A	123.67 B C	18.00 A	28.67 A	00 B	1.33 A	31.78 C
150 R	75.00 C D	110.67 B C D	9.33 C	25.00 B	3.33 B	1.67 A	54.76 B
151 R	78.00 A B	122.00 B C	9.67 C	29.00 A	5.00 B	2.33 A	49.80 B C
TX435 R	80.33 A	98.67 D	11.00 B C	20.67 D	00 B	2.00 A	60.98 A B
TX278 R	75.67 B C	107.00 C D	15.67 A B	21.00 C D	00 B	1.67 A	53.67 B
150 R CERA	77.00 B C	119.67 B C	11.67 B C	25.00 B	00 B	2.00 A	50.20 B
TX 430 R	77.67 B	96.67 D	9.67 C	21.67 C D	00 B	2.33 A	64.72 A B

Gen=Genotipos, DF= días a floración, AP= altura de planta, LE= longitud de excersión LP= longitud de panícula, LE= longitud de excersión, REN= rendimiento.

Para la altura de la planta (AP) se encontró diferencias estadísticamente significativas siendo los genotipos 10351 R y 90538 R con más altura y también con mayor rendimiento de granos, la línea TX435 R obtuvo la altura más baja de todos los materiales evaluados.

En las comparaciones de medias para la variable de longitud de excersión (LE) hubo diferencias significativas estadísticamente, el genotipo 154 R presentó una mayor longitud de excersión con respecto al resto de líneas evaluadas. La línea 162 R es de longitud de excersión más corto teniendo mucha desventaja con respecto a los demás para esta característica.

La variable longitud de la panícula (LP) tuvo diferencias significativas estadísticamente siendo la línea 151 R que presentó el tamaño de panícula más grande con respecto al resto, el genotipo TX435 R presentó una panícula pequeña.

Los daños por aves en el genotipo 10351 R fueron altos y estadísticamente diferente a los otros genotipos evaluados en la presente investigación.

Para enfermedades foliares, no se encontraron diferencias estadísticas, en todos los genotipos la incidencia de enfermedades foliares fue baja.

Se observó que el rendimiento de granos en la línea 90538 R fue estadísticamente diferente mayor y superior al resto, lo cual se convierte en una opción de utilizar en un futuro para producir semilla híbrida, por otra parte, el genotipo 154 R es el menos rendidor de todos los genotipos evaluados en el experimento.

**Cuadro 11.** Comparación de días a floración o sincronía floral de líneas isogénicas de sorgo A, B. Campo experimental UAAAN. Ciclo agrícola primavera-verano, 2022.

Gen. A	DF	=/≠	DF	Gen B
1831 A	75	=	75	1831 B
1823 A	73	=	73	1823 B
2921 A	77	≠	79	2921 B
398 A	78	=	78	398 B
W A	77	≠	78	W B

Gen.=genotipo, DF= días a floración, (=/≠):= igual o diferente.

La sincronía es floral es un factor importante para el mantenimiento e incremento de las líneas androestériles A. Las líneas isogénicas 1831, 1823 y 398 presentaron una buena sincronía floral.

#### **4.4. Sincronía floral entre el grupo de líneas androestériles A y R para producción de semilla híbrida**

En el Cuadro 12, se presentan las 8 posibles combinaciones que se pueden realizar entre el grupo de líneas A y las líneas R, por haber florecido, ambas líneas el mismo día presentando sincronías florales, lo que significa que estas líneas se pueden sembrar el mismo día para la producción de semillas. Las demás líneas tienen a sincronía floral en un rango de 1-7 días.

**Cuadro 12.** Comparación de días a floración en la siembra de grupos de líneas androestériles A y líneas restauradoras R, para la producción de semilla híbrida de sorgo. Campo Experimental UAAAN. Ciclo primavera-verano, 2022.

Líneas R (♂)	1835 A (♀) (75 días)	1823 A (C) (73 Días)	2921 A (♀) (77 días)	398 A (♀) (78 días)	W A (♀) 77 días
10351 R (73 días)	2 días > R	Mismo día	4 días > R	5 días > R	4 días > R
90358 R (73 días)	2 días > R	Mismo día	4 días > R	5 días > R	4 días > R
162 R (75 días)	Mismo día	2 días < R	2 días > R	3 días > R	2 días > R
154 R (80 días)	5 días < R	7 días < R	3 días < R	2 días < R	3 días < R
150 R (75 días)	Mismo día	2 días < R	2 días > R	3 días > R	2 días > R
151 R (78 días)	3 días < R	5 días < R	1 día < R	Mismo día	1 día < R
TX435 R (80 días)	5 días < R	7 días < R	3 días < R	2 días < R	3 días < R
TX278 R (76 días)	1 día < R	3 días < R	1 día > R	2 días > R	1 día > R
150 R cera (77 días)	2 días < R	4 días < R	Mismo día	1 días > R	Mismo día
TX 430 R (78 días)	3 días < R	5 días < R	1 día < R	Mismo día	1 día < R

Línea R (♂) = Progenitor masculino restaurador de la androfertilidad; Línea A (♀) = Progenitor femenino líneas androestériles. > Indica mayor que; < indica menor que.

## **V. CONCLUSIONES**

En el presente trabajo de investigación se encontraron características agronómicas sobresalientes, las líneas isogénicas W A, W B presentaron mayor rendimiento, a pesar de ser las que presentaron el mayor daño por aves.

El genotipo 1823 A, se puede cruzar con el 90538 R y con el genotipo 10351 R, las tres líneas presentan mayor rendimiento y buena sincronía floral (mismo día).

Los genotipos W A y 150 R cera, también presentan mayor rendimiento y sincronía floral (mismo día). El mismo progenitor femenino (W A) se puede cruzar con la línea 430 R, pero es un día más tardío el progenitor masculino.

El mantenimiento de las líneas A y B, genero la producción de semilla en las líneas isogénicas evaluadas, lo cual permitirá en los próximos ciclos de producción, generar híbridos de sorgo para grano en la región sureste de Coahuila.

## VI. LITERATURA CITADA

- Argueta, E. M. (2002). Manual para la producción del Híbrido Sorgo Ganadero en Zamorano, Honduras (Doctoral dissertation, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2014.).
- Begna, T. 2022. Mecanismos de desarrollo de sorgo híbrido para mejorar Producción y Productividad. Revista Internacional de Estudios de Investigación en Ciencias Agrícolas (IJRSAS). Volumen 8, Número 2, 2022, PP 20-31.
- Besnier, F. (1962). El sorgo híbrido. Ministerio de la agricultura. 23 y 24-62 H.
- Caamal, C. I., Pat, F., Verna, G., y Martínez, L. D. (2016). Análisis de producción del cultivo de sorgo en México y el estado de Oaxaca. Texcoco de Mora-México, 2016. 120 p.
- Carvajal, F.C.J. 1978. Producción de semilla híbrida de sorgo *Sorghum bicolor* L (Moench). En "producción moderna del sorgo". Minagricultura, ICA, Regional 6. Programa nacional de sorgo.
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova," sv). 2007. (Guía Técnica) del Sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench). La Libertad El Salvador, 38 p.
- CESAVEG. 2016. Manual de Plagas y Enfermedades en Sorgo. Campaña Manejo Fitosanitario del Sorgo. Consultado en septiembre de 2022. Disponible en <http://cesaveg.org.mx>
- Chuck-Hernández, C., Pérez-Carrillo, E., Heredia-Olea, E., y Serna-Saldívar, S. O. (2011). Sorgo como un cultivo multifacético para la producción de bioetanol en México: tecnologías, avances y áreas de oportunidad. Revista mexicana de ingeniería química, 10(3), 529-54.

- Clará, V. R. 1980. Informe sobre el entrenamiento en el internacional Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT-INDIA). Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria. (CENTA) p. 5-6.
- De Benardi, L. A. (2019). Perfil del sorgo. Ministerio de agricultura, ganadería y pesca. Presidencia de la nación, Argentina.
- De Melo, C., y Cheschini, J. (2012). Daños causados por las aves en sorgo (*Sorghum bicolor*) en Brasil Central. *Bioagro*, 24(1), 33-38.
- Duvick, DN. 1959. El uso de la esterilidad masculina citoplasmática en la producción de semillas híbridas. *Botánica Económica*, 13(3):167-195
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1987. Hybrid seed Production of selected cereal oil and vegetable crops. 367 p.
- FIRA. (2022). Perspectivas 2022. Fideicomisos instituidos en relación con la agricultura. FIRA. México, D. F. 28 p.
- Giorda, L. M. 1997. Enfermedades. En: Giorda L.M (ed). Sorgo granífero. INTA Centro Regional Córdoba. EEA Manfredi. P.40-46.
- Google earth. 2023. <https://www.google.com/intl/es-419/earth/about/> (04, noviembre, 2023)
- Gutiérrez, N, N L. 2019. Entre lo inesperado y lo imprevisto: la sequía y los proyectos de mejoramiento de maíz y sorgo en el bajío, 1943-1970. Universidad de Guanajuato.
- Hermesen, J. E. (2023). Sorghum morphology and anatomy. Earth @home. Paleontological reseach institucion.
- House, L.R. (1985). A guide to Sorghum breeding. Segunda ed. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT). Patancheru, Andhara Pradesh, India.

- Ionita, E. (2022). El sorgo un mercado en crecimiento. Veterinaria digital. Todo sobre medicina veterinaria y producción animal. <https://www.veterinariadigital.com/articulos/el-sorgo-un-mercado-en-crecimiento/#>
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) 2020. La “mosquita de la panoja” del sorgo, prevención y control. Boletín electrónico para integrantes del sector agropecuario y forestal de Tamaulipas. Centro de Investigación Regional Noreste. Campo experimental rio bravo.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) 2008. Sorgo. Ficha tecnológica por sistema producto. Campo experimental rio bravo.
- INTAGRI (Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura) 2017. Daños por gusano cogollero. <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/manejo-integrado-de-gusano-cogollero-en-maiz-y-sorgo>
- Martínez, V. F. (2019). Sorgo forrajero (*Sorghum bicolor*). Ficha técnica de sorgo forrajero (*Sorghum bicolor*). Pastos y forrajes. Info pastos y forrajes. com
- Mallor, G. C., Garcés C. A. (2015). La androesterilidad en cebolla (*Allium cepa* L.). Horticultura. Interempresas.
- Mamo, T., A. K., Singh., and A. A. Mahama. (2023). Sorghum Breeding. In W. P. Suza, & K. R. Lamkey (Eds.), *Crop Improvement*. Iowa State University Digital Press.
- 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
- Pérez, C. 2020. Sorgo; que es, beneficios y propiedades nutritivas. Disponible en: <https://www.miarevista.es/nutricion/13947.html>



- Pierre, F. 2022. Plan de manejo de la roya del sorgo (*Puccinia purpurea*, Cooke). MATS (Maestría en agricultura Tropical Sostenible). Clase de protección vegetal.
- Poehlman, JM. 2005. Mejoramiento genético de las cosechas. 2 ed. Editorial Limusa D.F., México. 511 p.
- Poehlman, JM. 1979. Mejoramiento genético de las cosechas. Editorial Limusa. D.F. México. 453 p.
- PROAIN, (2020). Tecnologías en la producción del sorgo forrajero. Proain tecnología Agrícola. Consultado en mayo de 2023. <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/tecnologias-en-la-produccion-de-sorgo-forrajero>
- Riera, B. 1999. *Fusarium moniliforme* Sheld, en el cultivo de maíz, 30 p. Monografía, UCV-Maracay, Ven. Pacheco, M. 1995. La antracnosis del sorgo causada por *Colletotrichum graminicola*. Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela. 15p.
- Rao, N.G.P. 2002. Sorghum in evolution and adaptation of cereal crops. Sci. Pub. Inc. E. New. Hampshire. USA. p. 214-238.
- Reyes, C. 2015 a. Ergot - *Sphacelia sorgi*. Panorama agro.com. Revista de agricultura. <https://panorama-agro.com/?p=1157> (30, noviembre, 2023)
- Reyes, C. 2015 b. Ergot - *Sphacelia sorgi*. Panorama agro.com. Revista de agricultura. <https://panorama-agro.com/?p=1157> (30, noviembre, 2023)
- Rush, Ch., Workneh, F. 2003. Ecology and epidemiology of stalk rot in sorghum. Texas Agricultural Experiment Station. Bushland/Uvalde, Tx. <http://sorghum.tamu.edu/disease/2kReports/Charlie-rush2.pdf>

- SAGARPA. 2017. Sorgo grano mexicano. Planeación agrícola nacional. Consultado en mayo de 2023. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256433/B\\_Sorgo\\_Grano.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256433/B_Sorgo_Grano.pdf) (10, mayo, 2023).
- Salazar, N. J., Gonzalez, G., Rouzaud, O. y Robles, M. (2018). Tecnologías aplicadas al sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Monech]. Cambios en los compuestos fenológicos y la capacidad de antioxidante. *Food Science and technology*. 38 (3). 1-14.
- SENASICA. (2014). Pulgón amarillo *Melanaphis sacchari* (Zehntner). Servicio nacional de sanidad, inocuidad y calidad alimentaria. Ficha técnica No.43. consultado en octubre de 2023.
- SIAP, 2022. Escenario mensual de productos agroalimentarios. Sorgo grano. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
- Simón, María R., Gerard, Guillermo, S. 2016. Sorgo: objetivos de mejoramiento genético; Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.
- SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas). 2018. Regla para la calificación de semilla de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.).
- Sobetski, H. 2015. Polinización del sorgo. *ECHO Notas de Desarrollo* n.º 126 México. P. 7. Consultado en noviembre de 2023. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/550125/Regla\\_Tecnica\\_Sorgo.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/550125/Regla_Tecnica_Sorgo.pdf)
- Stella, Z. M. (2018). Manejo de plagas en sorgo. INIA treinta y tres. Estación experimental del este. Avance de siembras y cosechas resumen nacional por cultivo. Consultado en agosto de 2021. <http://infosiap.siap.gob.mx>

- Trujillo, J., (1988). El cultivo de sorgo en áreas tropicales de México. Experto "B" Nacional de Sorgo para las regiones Sur y Sureste de SARHINIFAP, Campo Agrícola Experimental UXMAL, Apdo. Postal 50 Suc. D, Marida, Yucatán, México. Vol. (29)2.
- Vanderlip, R. L. 2000. How a sorghum plant develops. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. Consultado en octubre de 2023.
- Vázquez, N. I. (2023). Sorgo, el cereal sin gluten que revoluciona la cocina "healthy": que es propiedades beneficios y como cocinarlo. DAP. Consultado en mayo de 2023. <https://www.directoalpaladar.com/ingredientes-y-alimentos/sorgo-cereal-naturalmente-gluten-que-revoluciona-cocina-healthy-que-propiedades-beneficios-como-cocinarlo>
- Williams Alanís, Héctor; Pecina Quintero, Víctor; Zavala García, Francisco; Martínez Hernández, Ricardo; Rangel Estrada, Sandra Eloísa; Machuca Orta, Ismael. 2004. Reacción a *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. de Híbridos Comerciales y Experimentales de Sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] para Grano Revista Mexicana de Fitopatología, vol. 22, núm. 2, julio-diciembre, 2004, pp. 216-222 Sociedad Mexicana de Fitopatología, A.C. Texcoco, México.
- 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. 147 p.

## VII. APENDICE



**Figura 1.** Siembra del experimento



**Figura 2.** Etapa vegetativa



**Figura 3.** Hoja bandera de sorgo



**Figura 4.** Línea androestéril de sorgo





**Figura 5.** Incidencia de enfermedades foliares



**Figura 6.** Panícula con daño por aves



**Figura 7.** Madurez fisiológica del grano



**Figura 8.** Cosecha del experimento