

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Mantenimiento e Incremento de Líneas Progenitoras para la Formación de  
Híbridos Experimentales de Sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]

Por:

**RUBÉN BAUTISTA ROQUE**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Noviembre, 2022.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Mantenimiento e Incremento de Líneas Progenitoras para la Formación de  
Híbridos Experimentales de Sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]

Por:

**RUBÉN BAUTISTA ROQUE**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

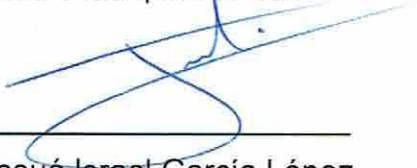
Aprobada por el Comité de Asesoría:



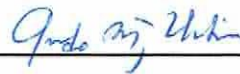
Dr. Antonio Flores Naveda  
Asesor Principal Interno



Dr. David Sánchez Aspeytia  
Asesor Principal Externo



Dr. Josué Israel García López  
Coasesor



Dr. Armando Muñoz Urbina  
Coasesor



Dr. Jerónimo Landeros Flores  
Coordinador Interino de la División de Agronomía



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Noviembre, 2022

## Declaración de no plagio

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

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, 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



---

Rubén Bautista Roque

## AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por darme la vida, guiarme, cuidarme y darme las fuerzas necesarias para levantarme en cada caída, 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, arroparme y ser para mí un segundo hogar. Por los conocimientos adquiridos durante mi formación profesional y por las enseñanzas que me brindaron sus profesores.

Al **Dr. Antonio Flores Naveda** por haber puesto su confianza en mí, compartir sus conocimientos a lo largo de este proyecto, aconsejarme y brindarme su apoyo incondicional en todo momento.

Al **Dr. David Sánchez Aspeytia** por los conocimientos compartidos durante mi periodo de Prácticas Profesionales. Le agradezco también la participación en el comité de asesoría y por las sugerencias realizadas al presente trabajo.

Al **Dr. Armando Muñoz Urbina** por el gran apoyo, paciencia y el tiempo dedicado en la revisión de esta investigación.

Al **Dr. Josué Israel García López** por el apoyo incondicional durante este proceso, por la amistad brindada y los momentos de convivencias que pasamos.

Al **C. Lorenzo Villa Sandoval** un gran ser humano quien demostró estar siempre a disposición para los trabajos en campo y apoyar este proyecto, haciendo su trabajo con responsabilidad y dando lo mejor de él.

A todos mis **amigos y compañeros**, sin excepción alguna, por todos los grandes e inolvidables momentos compartidos en la Universidad y fuera de ella.

## **DEDICATORIA**

### **A mis Padres Biológicos**

Rosa Pérez Miguel (†) y Zeferino Bautista Canseco (†) por darme la vida, cuidarme y estar pendiente de mí en todo momento. Por darme el mejor ejemplo que es la perseverancia. Sus partidas fueron un golpe muy fuerte para mí, pero también un gran motivo para seguir echándole ganas a la escuela y a la vida. Por cuidarme desde el cielo, siempre estaré agradecido con ustedes.

### **A mis Padres Adoptivos**

Angelina Roque Ortíz y Nicolás Bautista Canseco, por todo el amor que me han brindado, por darme un hogar, cuidarme desde pequeño y por todo el sacrificio que han hecho por mí para cumplir esta meta. Este logro también es para ustedes, por apoyarme en todas mis decisiones, por creer y poner su confianza en mí, en todo momento.

### **A mis hermanos**

Emanuela, Estela, Magdalena, Federico, Amalia, Benjamín, María Dolores y Noé, por todo el apoyo y confianza brindado en cada una de las etapas de mi vida. Por impulsarme a seguir con mis estudios y ser un hombre de bien.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>I</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>II</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO .....</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS .....</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>IX</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos.....	3
1.1.1. Objetivo general .....	3
1.1.2. Objetivos específicos.....	3
1.2. Hipótesis .....	3
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
2.1. Origen del cultivo de sorgo .....	4
2.2. Importancia del cultivo de sorgo .....	4
2.3. Producción mundial de sorgo.....	5
2.4. Producción nacional de sorgo.....	6
2.5. Clasificación taxonómica.....	7
2.6. Morfología de la planta.....	8
2.6.1. Raíz.....	8
2.6.2. Tallo.....	9
2.6.3. Hojas .....	9
2.6.4. Exersión .....	9
2.6.5. Inflorescencia .....	9
2.7. Etapas de crecimiento y desarrollo .....	10
2.8. Principales plagas.....	14
2.8.1. Gusano cogollero ( <i>Spodoptera frugiperda</i> ) .....	15

2.8.2.	Gusano soldado ( <i>Spodoptera exigua</i> ) .....	15
2.8.3.	Gallina ciega ( <i>Phyllophaga spp.</i> ) .....	16
2.8.4.	Pulgón amarillo ( <i>Melanaphis sacchari</i> ) .....	16
2.9.	Principales enfermedades .....	17
2.9.1.	Ergot ( <i>Claviceps africana</i> ) .....	18
2.9.2.	Antracnosis ( <i>Colletotrichum graminicola</i> ) .....	18
2.9.3.	Roya ( <i>Puccinia purpurea</i> ) .....	19
2.9.4.	Tizón de la panícula ( <i>Fusarium spp.</i> ) .....	20
2.10.	Mejoramiento genético del sorgo .....	20
2.11.	Líneas A, B y R de sorgo .....	21
2.12.	Incremento y mantenimiento de líneas experimentales de sorgo .....	22
2.13.	Producción de semilla híbrida .....	23
2.14.	Criterios y especificaciones de campo .....	24
2.14.1.	Unidad de inscripción .....	24
2.14.2.	Aislamiento .....	24
2.14.3.	Número de inspecciones .....	25
2.14.4.	Tolerancias de campo .....	26
2.15.	Criterios y especificaciones de laboratorio .....	26
2.16.	Composición nutricional del sorgo .....	28
<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
3.1.	Localización del sitio experimental .....	29
3.2.	Germoplasma utilizado .....	29
3.3.	Tratamientos .....	29
3.4.	Manejo agronómico .....	30
3.4.1.	Preparación del terreno .....	30
3.4.2.	Siembra y trasplante .....	30
3.4.3.	Fertilización .....	31
3.4.4.	Control de malezas .....	31
3.4.5.	Control de plagas y enfermedades .....	31
3.4.6.	Incremento de líneas isogénicas A, B y R de sorgo .....	32
3.4.7.	Cosecha .....	32

3.4.8.	Trilla de las semillas .....	32
3.5.	Variables evaluadas.....	33
3.5.1.	Días a floración.....	33
3.5.2.	Altura de la planta.....	33
3.5.3.	Longitud de panícula .....	33
3.5.4.	Longitud de exersión .....	33
3.5.5.	Diámetro de tallo .....	33
3.5.6.	Concentración de azúcares (Grados Brix).....	34
3.5.7.	Rendimiento de grano por planta .....	34
3.6.	Análisis estadístico univariado .....	34
3.7.	Análisis estadístico multivariado .....	36
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>37</b>
4.1.	Líneas isogénicas A, B de sorgo.....	37
4.2.	Líneas R de sorgo.....	39
4.3.	Sincronía floral entre las líneas A y R para producción de semilla híbrida	41
4.4.	Análisis de componentes principales para líneas R .....	42
4.5.	Correlaciones fenotípicas para las líneas R.....	44
4.6.	Grupo de líneas androestériles .....	44
4.7.	Análisis de componentes principales para el grupo de líneas androestériles.....	46
4.8.	Correlaciones fenotípicas para los grupos de líneas androestériles .....	48
4.9.	Sincronía floral entre el grupo de líneas androestériles A y R para producción de semilla híbrida.....	48
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>50</b>
5.1.	Líneas isogénicas A, B.....	50
5.2.	Líneas restauradoras de la androfertilidad R .....	50
5.3.	Grupo de líneas androestériles .....	51
<b>VI.</b>	<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>52</b>
<b>VII.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>57</b>



## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Mercado mundial de sorgo (Millones de toneladas). .....	6
<b>Cuadro 2.</b> Distancia mínima de aislamiento del lote de producción de semilla respecto a especies en variedades para grano, forrajeras y escobera. ....	25
<b>Cuadro 3.</b> Tolerancias en las categorías de semillas. ....	26
<b>Cuadro 4.</b> Estándares para las categorías en la producción de variedades. ....	27
<b>Cuadro 5.</b> Valor nutricional del sorgo por 100 g (3.5 oz). ....	28
<b>Cuadro 6.</b> Líneas experimentales de sorgo, utilizadas en el trabajo de investigación: líneas isogénicas A, B; líneas restauradoras de la androfertilidad R y grupo de líneas androestériles A.....	30
<b>Cuadro 7.</b> Cuadrados medios del análisis de varianza de siete características agronómicas de líneas isogénicas A, B de sorgo. Campo Experimental UAAAN. Ciclo primavera-verano, 2021. ....	37
<b>Cuadro 8.</b> Comparación de medias de los caracteres agronómicos evaluados de líneas isogénicas de sorgo A, B. Campo Experimental UAAAN. Ciclo primavera-verano, 2021. ....	38
<b>Cuadro 9.</b> Cuadrados medios del análisis de varianza de siete características agronómicas de líneas restauradoras de la androfertilidad de sorgo. Campo Experimental UAAAN. Ciclo primavera-verano, 2021. ....	40
<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, 2021. ....	40
<b>Cuadro 11.</b> Combinaciones de días a floración en la siembra de líneas androestériles A y líneas restauradoras R, para la producción de semilla híbrida de sorgo. Campo Experimental UAAAN. Ciclo primavera-verano, 2021.....	42
<b>Cuadro 12.</b> Valores y vectores propios para los tres primeros componentes principales de las variables evaluadas en genotipos de sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> ). 42	

<b>Cuadro 13.</b> Correlaciones fenotípicas para las líneas R consideradas en el análisis de componentes principales.....	44
<b>Cuadro 14.</b> Cuadrados medios del análisis de varianza de seis características agronómicas de líneas androestériles de sorgo. Campo Experimental UAAAN. Ciclo primavera-verano, 2021. ....	45
<b>Cuadro 15.</b> Prueba de comparación de medias de las variables analizadas en líneas androestériles de sorgo. Campo Experimental UAAAN. Ciclo primavera-verano, 2021. ....	45
<b>Cuadro 16.</b> Valores y vectores propios para los tres primeros componentes principales de las variables evaluadas en campo del grupo de líneas androestériles de sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> ). ....	46
<b>Cuadro 17.</b> Correlaciones fenotípicas para las líneas androestériles consideradas en el análisis de componentes principales. ....	48
<b>Cuadro 18.</b> Combinaciones de días a floración en la siembra de grupos de líneas androestériles A y líneas restauradoras R, para la producción de semilla híbrida experimental de sorgo. Campo Experimental UAAAN. Ciclo primavera-verano, 2021. ....	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Producción y consumo de sorgo en México (Millones de toneladas). ....	7
<b>Figura 2.</b> Descripción botánica de la planta de sorgo.....	8
<b>Figura 3.</b> Etapas de crecimiento y desarrollo del sorgo.....	10
<b>Figura 4.</b> Etapa vegetativa de la planta de sorgo. ....	13
<b>Figura 5.</b> Etapa reproductiva de la planta de sorgo.....	13
<b>Figura 6.</b> Principales plagas en el cultivo de sorgo. ....	14
<b>Figura 7.</b> Principales enfermedades en el cultivo de sorgo. ....	17
<b>Figura 8.</b> Producción de semilla híbrida simple de sorgo. ....	23
<b>Figura 9.</b> Gráfica biplot que muestran las variables-vector y la distribución de nueve genotipos R de sorgo, en base a los dos primeros componentes principales. ....	43
<b>Figura 10.</b> Gráfica biplot que muestran las variables-vector y la distribución de ocho líneas androestériles de sorgo, en base a los dos primeros componentes principales.....	47

## RESUMEN

Para el desarrollo de híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) es fundamental la evaluación del comportamiento *per se* de las líneas, por lo tanto, el objetivo de esta investigación fué evaluar el comportamiento agronómico de líneas isogénicas A, B; líneas R restauradoras de la androfertilidad y líneas androestériles A, para sorgo de grano. El experimento se estableció durante el ciclo agrícola primavera-verano, 2021, en el Campo Experimental “Bajío” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Buenavista, Saltillo, Coahuila, bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. El germoplasma experimental estuvo constituido por tres grupos de genotipos: el grupo 1 incluyó cuatro pares de líneas isogénicas A (androestéril), B (androfétil); el grupo 2, nueve líneas R (restauradoras de la androfertilidad); y el grupo 3, ocho líneas androestériles de sorgo, pertenecientes al Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS) del Departamento de Fitomejoramiento, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Se evaluaron las variables: días a floración (DF), altura de planta (AP), longitud de panícula (LP), longitud de exersión (LE), diámetro de tallo (DT), concentración de azúcares en grados Brix (GB) y rendimiento de semilla en gramos por planta (REN).

Los datos de todas las variables se analizaron conforme al diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones y la prueba de comparación de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), aplicado a cada uno de los tres grupos de líneas experimentales de sorgo y un análisis multivariado de componentes principales, para los grupos 2 y 3 de genotipos de sorgo, utilizando el paquete estadístico Minitab (16).

De los resultados obtenidos en el grupo 1, los pares de líneas isogénicas WA, WB y 1831A, 1831B presentaron buena sincronía floral, siendo el par de las líneas isogénicas 1831 las más precoces (DF= 72 días). Las líneas WA (13.36 cm) y 1831 B (11.46 cm), presentaron una adecuada longitud de exersión.

Los rendimientos más altos se registraron en las líneas 1823 B (68.392 g/pl) y 1831 B (68.673 g/pl). El contenido de azúcares en las líneas WB y 1823 A, fué superior a los 10 °Brix.

En el grupo 2, de líneas restauradoras de la androfertilidad, la línea 90538 R fue la más precoz (DF= 72 días), tuvo buena longitud de exersión (19.18 cm) y presentó el más alto rendimiento (81.68 g/pl). La línea 10351 R registró una alta concentración de azúcares (GB= 10.33), adecuada longitud de exersión (14.66 cm) y el segundo mejor rendimiento (67.77 g/pl). En promedio los genotipos R, registraron 23.73 cm para longitud de panícula y una longitud de exersión superior a los 10 cm. El análisis de componentes principales identificó una correlación negativa y significativa entre DF con AP ( $r = -0.671^*$ ); una correlación negativa y altamente significativa entre DF con REN ( $r = -0.869^{**}$ ); también se presentó una correlación positiva y significativa entre GB y AP ( $r = 0.705^*$ ).

Para la formación de híbridos de cruce simple de sorgo se identificaron cinco pares de combinaciones de los grupos de líneas A x R con buena sincronía floral.

Con respecto al grupo 3, la línea androestéril 1829 A fue la más precoz (DF= 78 días) y destaca por su alto contenido de azúcares (GB= 14.76). La línea 398 A, presentó altos promedios para las variables GB (11.53) y LE (20.56 cm). En el análisis de componentes principales se identificó una correlación positiva y altamente significativa entre AP y LE ( $r = 0.849^{**}$ ). La variable DT tuvo una correlación positiva y altamente significativa con LP ( $r = 0.845^{**}$ ) y negativa y significativa con LE ( $r = -0.774^*$ ).

En este grupo, cinco pares de combinaciones entre grupos de líneas A x R, mostraron sincronía floral para la formación de híbridos de cruce simple en sorgo.

**Palabras clave:** *Sorghum bicolor*, características agronómicas, sincronía floral, correlaciones fenotípicas.

## I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) es el quinto cereal más importante del mundo después del trigo, maíz, arroz y cebada (FAO, 2017). El crecimiento de la producción de los cereales secundarios (sorgo, cebada y avena), se concentra en África oriental y occidental, donde el sorgo y el mijo son utilizados para consumo humano, por lo tanto, en estas regiones se presenta un 90% del crecimiento de la producción mundial (FIRA, 2016).

Los tres principales países productores de sorgo a nivel mundial durante 2019/2020 fueron Estados Unidos, Nigeria y Etiopía, con aportaciones del 15, 12 y 9 %, respectivamente de la producción mundial. El cuarto lugar lo compartieron México e India, con 4.5 millones de toneladas y participación de 7.8 % de la producción mundial del grano (FIRA, 2020).

Según el informe estadístico del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, la superficie sembrada en México en el año agrícola 2021 fue de 1,606,506.22 has, en la modalidad de riego más temporal, del cual 1,173,808.82 has fueron cosechadas y el resto fue siniestrada, llegando a tener una producción total de 4,043,476.63 toneladas, con un rendimiento promedio de 3.44 t ha<sup>-1</sup>. Siendo los principales estados productores en México, en el ciclo primavera-verano Guanajuato, Tamaulipas y Sinaloa; mientras que en el otoño-invierno fueron: Tamaulipas, San Luis Potosí y Nayarit (SIAP, 2021).

Actualmente, existe un gran interés en la utilización del grano de sorgo como fuente de energía en la elaboración de alimentos para el consumo humano y/o animal, sustituyendo al trigo en la panificación y al maíz amarillo en la elaboración de alimentos concentrados; para tal efecto es necesario conocer el control genético del color del grano para mejorar su calidad nutricional (Rooney y Clará, 2009).

De Bernardi (2019) señala que, el sorgo destaca por tener un alto poder calórico, (329 Kcal por cada 100 gramos), gran cantidad de minerales y vitaminas, como las del grupo B (tiamina, riboflavina y niacina) y las del grupo E. También es rico en hierro, calcio, fósforo, zinc y fibra insoluble. Esto lo convierten en un importante alimento antioxidante.

En la agroindustria participa en la producción de alimentos balanceados, de harinas, de alcohol refinado o para el uso cosmético. De la extracción de glucosa se hacen jarabes, acetona, butanol, gas para bebidas (CO<sub>2</sub>), además de ser un alimento libre de gluten. Se utiliza en la coloración de alimentos, y dispone de un alto contenido de fibra insoluble, proteínas y almidón de lenta digestión, siendo ideal para personas con problemas de diabetes. En relación a la producción de biocombustibles, el sorgo está en condiciones de producir la misma cantidad de etanol por unidad de masa que otras materias primas comparables, teniendo la particularidad de demandar menor cantidad de agua para producirla.

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 (Pérez *et al.*, 2010).

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). Con la formación de híbridos de sorgo se han logrado rendimientos de grano superiores a 8 t ha<sup>-1</sup>.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo general**

Evaluar el comportamiento agronómico de líneas experimentales A, B y R de sorgo y su potencial de rendimiento de grano.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

Evaluar días a floración en antesis media en líneas experimentales A, B y R de sorgo para grano.

Determinar altura de planta, longitud de panícula, longitud de exersión y rendimiento de grano en líneas experimentales de sorgo.

Estimar correlaciones fenotípicas entre las variables evaluadas.

## **1.2. Hipótesis**

Hi: La evaluación del comportamiento agronómico y rendimiento de grano de líneas progenitoras de híbridos de sorgo, permitirá seleccionar al menos un genotipo que se adapte en el ambiente de evaluación con mayor rendimiento de grano, con respecto a otras líneas evaluadas.

Ho: La evaluación del comportamiento agronómico de las líneas experimentales de sorgo, no permitirá seleccionar genotipos con características agronómicas deseables en el ambiente evaluado.



## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Origen del cultivo de sorgo

El sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) es procedente del noreste de África, en la región localizada en Etiopía y Sudán, aunque se ubicó inicialmente en la India. Se introdujo en América en el siglo XVIII. Se considera que muchas especies distintas se cultivan eventualmente en países de América, y que los sorgos actuales son híbridos de esas introducciones o de mutantes que han aparecido a través de los años (Pérez *et al.*, 2010).

A partir de su centro de origen, el sorgo se distribuyó por toda África, hasta India y China. En el trayecto, surgieron muchas razas distintas. Hoy en día, el sorgo es un complejo morfológico extremadamente diverso. Esta diversidad, ha hecho difícil crear un sistema sencillo de clasificación taxonómica (Poehlman, 2005).

### 2.2. Importancia del cultivo de sorgo

A nivel mundial, la demanda de alimentos ha crecido y en un futuro cercano se prevé una crisis alimentaria, por lo que es necesario contar con productos alternativos para enfrentar dicha situación.

En África y en algunos países de Asia, el sorgo es utilizado en la alimentación humana, debido a su gran adaptación a las condiciones adversas. (Rooney *et al.*, 1986).

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. Asimismo, en la industria de panificación la harina de sorgo está en constante crecimiento, ya que se ha comprobado que puede sustituir hasta en un 50% a la harina de trigo, en las mezclas para la elaboración de pan, sin afectar la calidad de éste (CENTA, 2007).

El sorgo es un cultivo importante en la alimentación humana y animal, se cultiva en áreas marginales de precipitación y en regiones tropicales y semiáridas del mundo. Una característica importante del sorgo es su gran variedad de mecanismos para tolerar el calor y la sequía (Doggett, 1965).

El sorgo tiene la particularidad de aportar elevadas cantidades de rastrojo que contribuyen a mejorar la cobertura de los suelos. Es un cultivo agrónomicamente perfecto ya que genera una alta producción con un consumo menor de agua que otros cereales de grano pequeño (INTA, 2011).

### **2.3. Producción mundial de sorgo**

Los tres principales países productores de sorgo a nivel mundial, durante 2019/2020 fueron Estados Unidos, Nigeria y Etiopía, con aportaciones del 15, 12 y 9 por ciento respectivamente. El cuarto lugar lo compartirían México e India, con 4.5 millones de toneladas y participación de 7.8 por ciento de la producción mundial del grano (FIRA, 2020).

De acuerdo con el USDA, la producción mundial de sorgo prevista en el ciclo comercial 2021/2022 será de 65.3 millones de toneladas, lo cual superaría en 5.4% la producción obtenida en el ciclo anterior. Dicho incremento, sería soportado por un mayor rendimiento, el cual se estima crezca en 8.3% con relación a 2020/2021, al pasar de 1.45 a 1.57 toneladas por hectáreas (FIRA, 2022).

Los principales países productores en el ciclo comercial 2021/2022 participarían con 50.6% del total mundial, a saber: 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 2020/2021, al ubicarse en 11.4 millones de toneladas (USDA, 2022).

**Cuadro 1.** Mercado mundial de sorgo (Millones de toneladas).

Concepto	2019/2020	2020/2021	2021/2022	Variación anual (%)
Producción	57.9	61.9	65.3	5.4
Exportaciones	6.5	11.4	12.1	6.2
Importaciones	5.6	9.9	11.9	19.7
Consumo	58.6	60.9	64.5	5.9
Consumo forrajero	21.3	24.4	27.2	11.7
Consumo humano e industrial	37.3	36.5	37.3	2.0
Inventarios finales	3.9	3.4	4.0	16.5
Inventarios/Consumo (%)	6.6%	5.6%	6.2%	

Fuente: USDA, 2022.

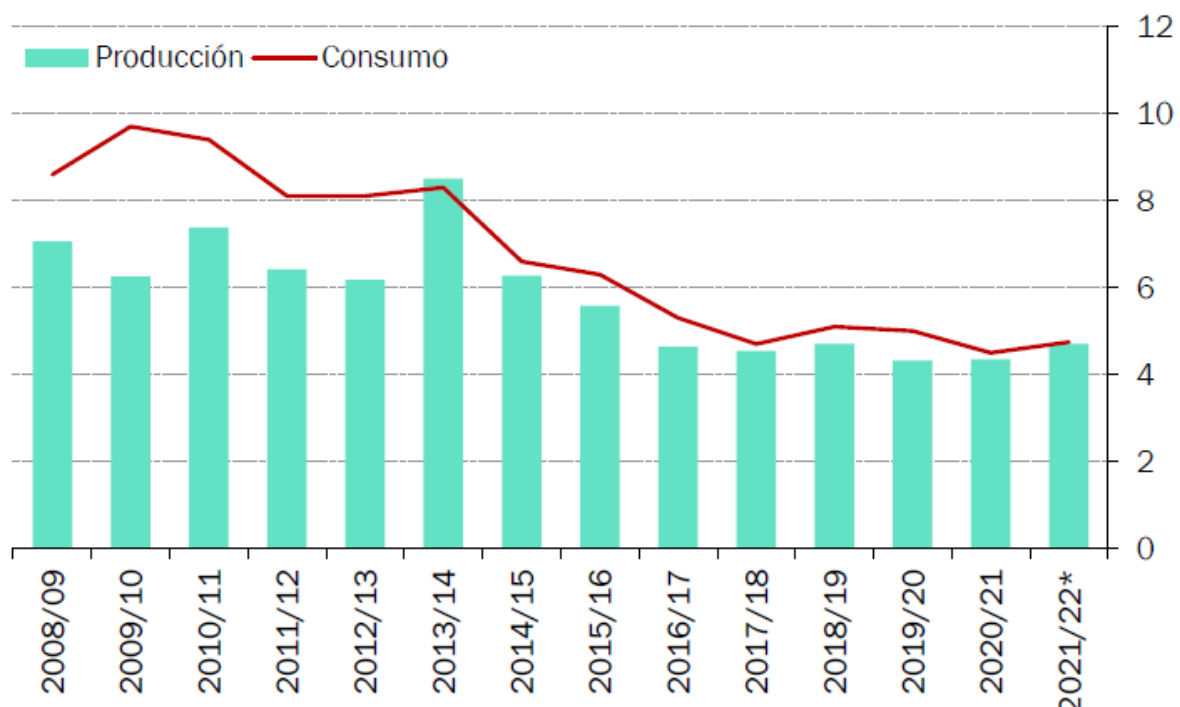
#### **2.4. Producción nacional de sorgo**

En México, el grano de sorgo se destina principalmente para la elaboración de alimento para ganado. En 2020 se obtuvieron 4 millones 504 mil toneladas, cifra 8.1% superior en comparación con la del año previo. Esto fue resultado de una mayor superficie sembrada y de mejores condiciones climatológicas y fitosanitarias, ya que en 2019 este cultivo fue afectado por la plaga del pulgón amarillo (SIAP, 2021).

Los principales estados productores de sorgo en México, en el ciclo primavera-verano 2021 fueron: Guanajuato, Tamaulipas y Sinaloa; mientras que en el otoño-invierno fueron: Tamaulipas, San Luis Potosí y Nayarit (SIAP, 2021).

El USDA pronostica para México una producción de sorgo de 4.7 millones de toneladas en el ciclo comercial 2021/2022, lo cual significaría un incremento de 8.1% con relación al ciclo inmediato anterior. Dicho aumento, sería impulsado por el alza de la superficie a cosechar que sería alrededor de 1.42 millones de hectáreas, cifra que contempla una variación anual de 10.2% con relación a lo cosechado en el ciclo 2020/2021.

Por otro lado, la demanda total serían 5.30 millones de toneladas, esto es, 17.6% mayor a la demanda del ciclo comercial anterior. Por lo tanto, debido al crecimiento previsto en el consumo industrial de 18.1%, con una participación de 94% de la demanda total.



**Figura 1.** Producción y consumo de sorgo en México (Millones de toneladas).

Fuente: USDA, 2022.

## 2.5. Clasificación taxonómica

De acuerdo a la clasificación taxonómica del sorgo, según el Sistema Integrado de Información Taxonómica de CONABIO (Heike, 2009).

Reino: Plantae

Subreino: Traqueobionta

Superdivisión: Spermatophyta

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Subclase: Commelinidae

Orden: Cyperales

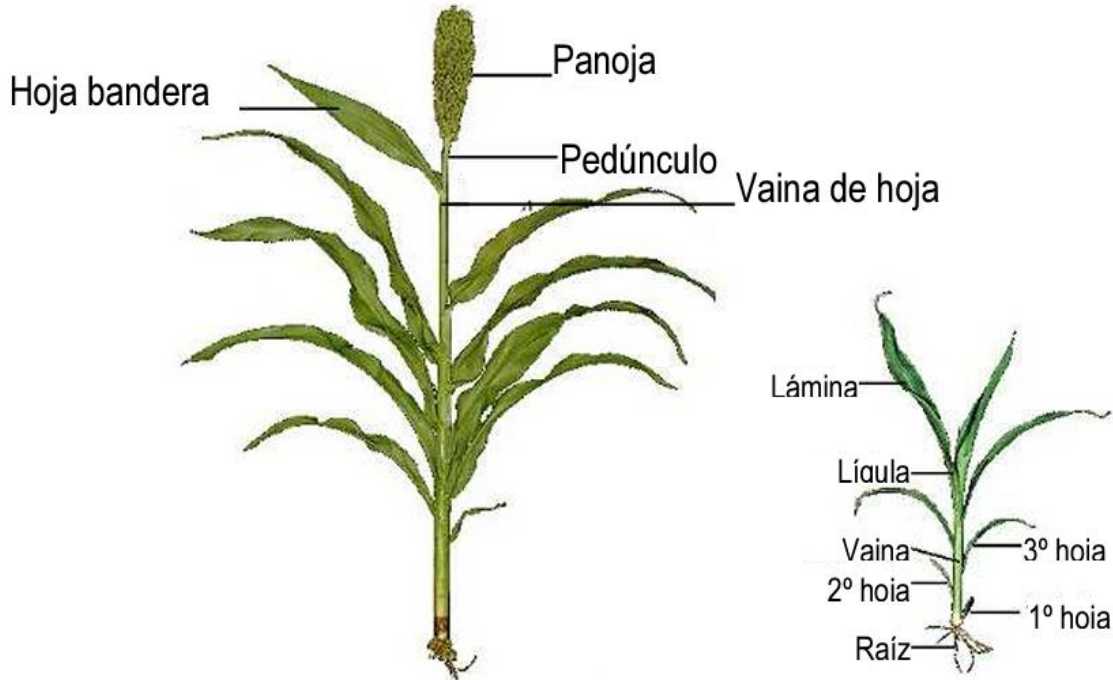
Familia: Poaceae

Género: Sorghum

Especie: *Sorghum bicolor* (L.) Moench

## 2.6. Morfología de la planta

El sorgo tiene una altura de 1 a 2 metros. Tiene inflorescencias en panículas y semillas de 3 mm, esféricas y oblongas, de color negro, rojizo, blanco, amarillento, entre otras. Tiene un sistema radicular que puede llegar en terrenos permeables a 2 m de profundidad. Las flores tienen estambres y pistilos (Figura 2).



**Figura 2.** Descripción botánica de la planta de sorgo.

Fuente: Vanderlip, 1993.

### 2.6.1. Raíz

El sistema radicular adventicio fibroso se desarrolla de los nudos más bajos del tallo. La profundidad de enraizado es generalmente de 1 a 1.3 metros, con 80% de raíces en los primeros 30 centímetros. El número de pelos absorbentes puede ser el doble que, en la planta de maíz, las raíces de soporte pueden crecer de primordios radicales, pero no son efectivas en la absorción de agua y nutrientes (CENTA, 2007).

### **2.6.2. Tallo**

El sorgo es una planta de un solo tallo, pero puede desarrollar otros dependiendo de la variedad y el ambiente; este tallo está formado de una serie de nudos y entrenudos, poseen de 7 a 24 nudos, su longitud varía de 45 cm a más de 4 metros y depende del número de nudos, siendo igual al número de hojas producidas hasta la madurez de la planta. La altura también depende de la longitud del entrenudo, el diámetro varía de 5 a 30 mm cerca de la base (CENTA, 2007).

### **2.6.3. Hojas**

El número de hojas varía de 7 a 24 según la variedad y el período de crecimiento, son erectas hasta casi horizontales y se encorvan con la edad. La longitud de una hoja madura, oscila entre 30 a 135 cm y su ancho entre 1.5 a 15 cm; son alternas y lanceoladas o linear-lanceoladas, con una superficie lisa y cerosa. La última hoja, es la hoja bandera y su vaina protege la inflorescencia que está emergiendo (CENTA, 2007).

### **2.6.4. Exersión**

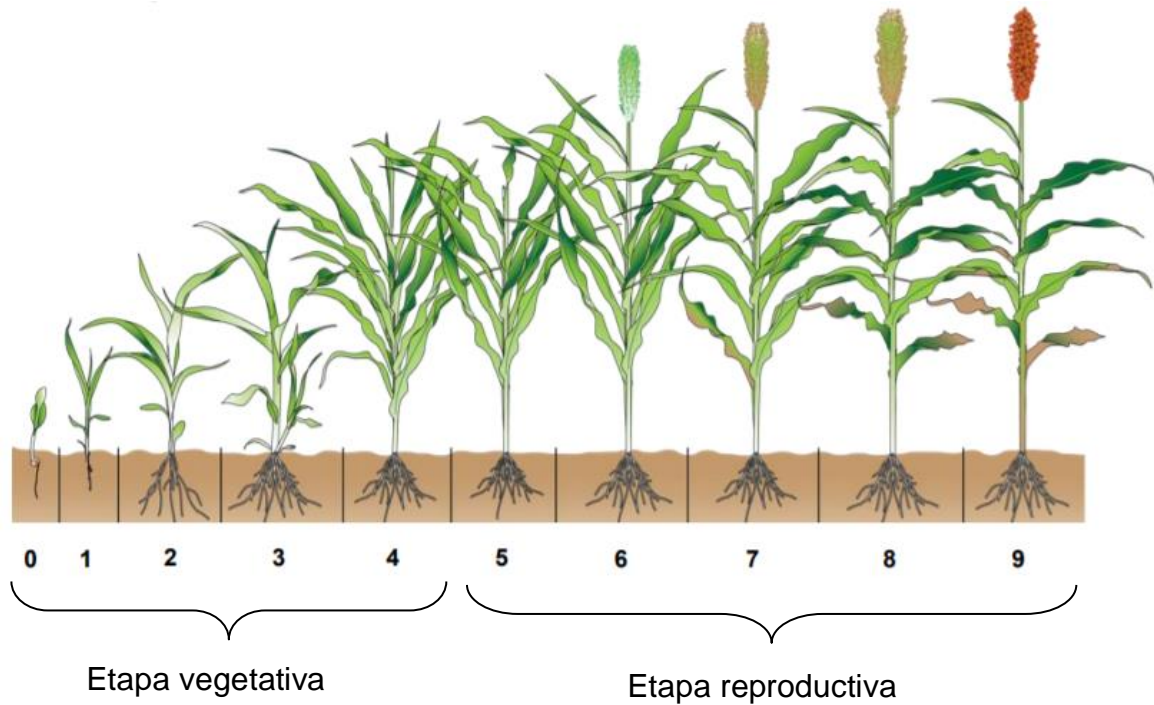
Una buena exersión, permite que los granos queden fuera de la vaina de la hoja bandera y entonces se reduce el daño por plagas y enfermedades en la parte inferior de la panícula. La longitud del pedúnculo o exersión está controlada genéticamente, pero los factores ambientales como la deficiencia de agua, puede ser una limitante (Compton, 1990).

### **2.6.5. Inflorescencia**

De acuerdo con Compton (1990) menciona que la inflorescencia es una panícula de racimo o panícula con un raquis central completamente escondido por la densidad de sus ramas o totalmente expuesto, cuando está inmadura es forzada hacia arriba dentro de la vaina más alta (buche), después que la última hoja (bandera) se expande distendiéndola a su paso.

La panícula o panoja es corta o larga, suelta, abierta, y compacta o semicompacta. Puede tener de 4 a 25 cm de largo, 2 a 20 cm de ancho y contener de 400 a 800 semillas, según el tipo de panoja.

## 2.7. Etapas de crecimiento y desarrollo



**Figura 3.** Etapas de crecimiento y desarrollo del sorgo.

Según Vanderlip y Reeves (1972), divide el crecimiento y desarrollo del sorgo en nueve etapas fenológicas (Figura 3). A continuación, se describen cada una de ellas.

### ❖ Etapa 0: Emergencia

El coleóptilo emerge y es visible en la superficie del suelo; el crecimiento temprano usualmente es lento, esto ocurre generalmente de 3 a 10 días después de la siembra (Figura 4a).

❖ Etapa 1: Etapa de tres hojas

En la planta de sorgo, tres hojas están completamente expandidas con sus lígulas visibles. Esta etapa ocurre entre 10 y 20 días después de la emergencia (Figura 4b).

❖ Etapa 2: Etapa de cinco hojas

Cinco hojas están completamente expandidas con sus lígulas visibles. En este momento se debe minimizar la competencia con las malezas para evitar pérdidas de rendimiento. Este estadio ocurre entre 20 y 25 días, después de la emergencia (Figura 4c).

❖ Etapa 3: Diferencia del punto de crecimiento

En esta etapa la planta alcanza la máxima tasa de crecimiento y absorción de nutrientes. El ápice de crecimiento está por encima de la superficie y cambia de producir hojas a formar la panícula (Figura 4d).

❖ Etapa 4: Hoja bandera visible

En esta etapa se produce un rápido elongamiento del tallo e incremento en el área foliar. La hoja final, “hoja bandera”, es visible en la parte superior de la planta (cogollo). En esta etapa se ha alcanzado el 20% del crecimiento total (Figura 4e).

❖ Etapa 5: Emergencia de la panícula

En esta etapa todas las hojas se han expandido totalmente, lo que significa que la planta se encuentra en sus niveles máximos de área foliar e intercepción de luz. Este estadio ocurre entre 50 y 60 días después de la emergencia (Figura 5a).



❖ 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 (Figura 5b).

❖ Etapa 7: Grano pastoso

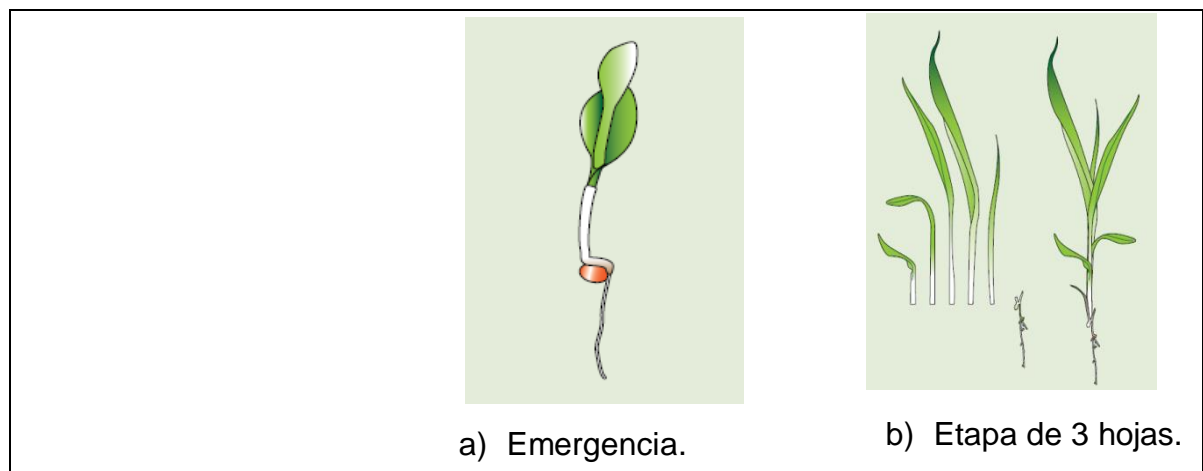
La formación de granos se inicia inmediatamente después de floración y éstos se llenan rápidamente (alcanzando el 50% de su materia seca total). Un estrés severo en esta etapa, puede producir granos abortados y/o livianos (Figura 5c).

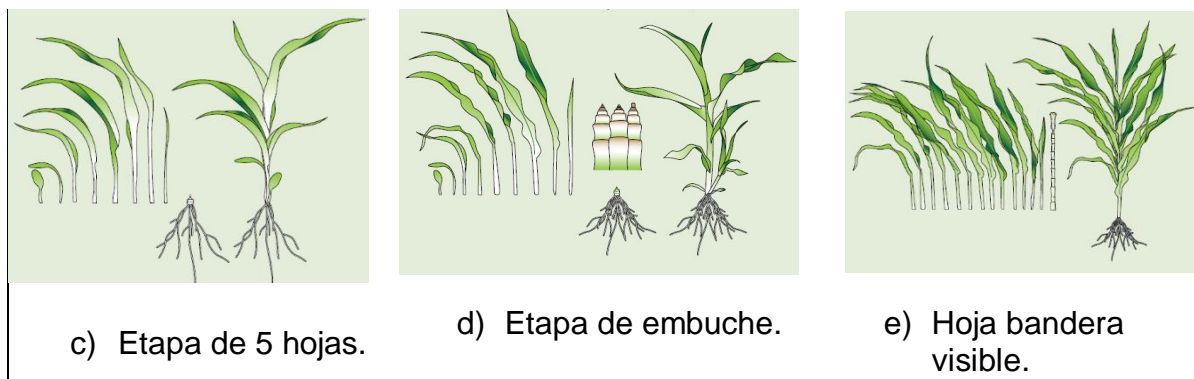
❖ Etapa 8: Grano duro

Los granos alcanzan un 75% de su materia seca final y la absorción de nutrientes, ha sido casi completada. Las hojas inferiores pierden funcionalidad, debido a la removilización de nutrientes (Figura 5d).

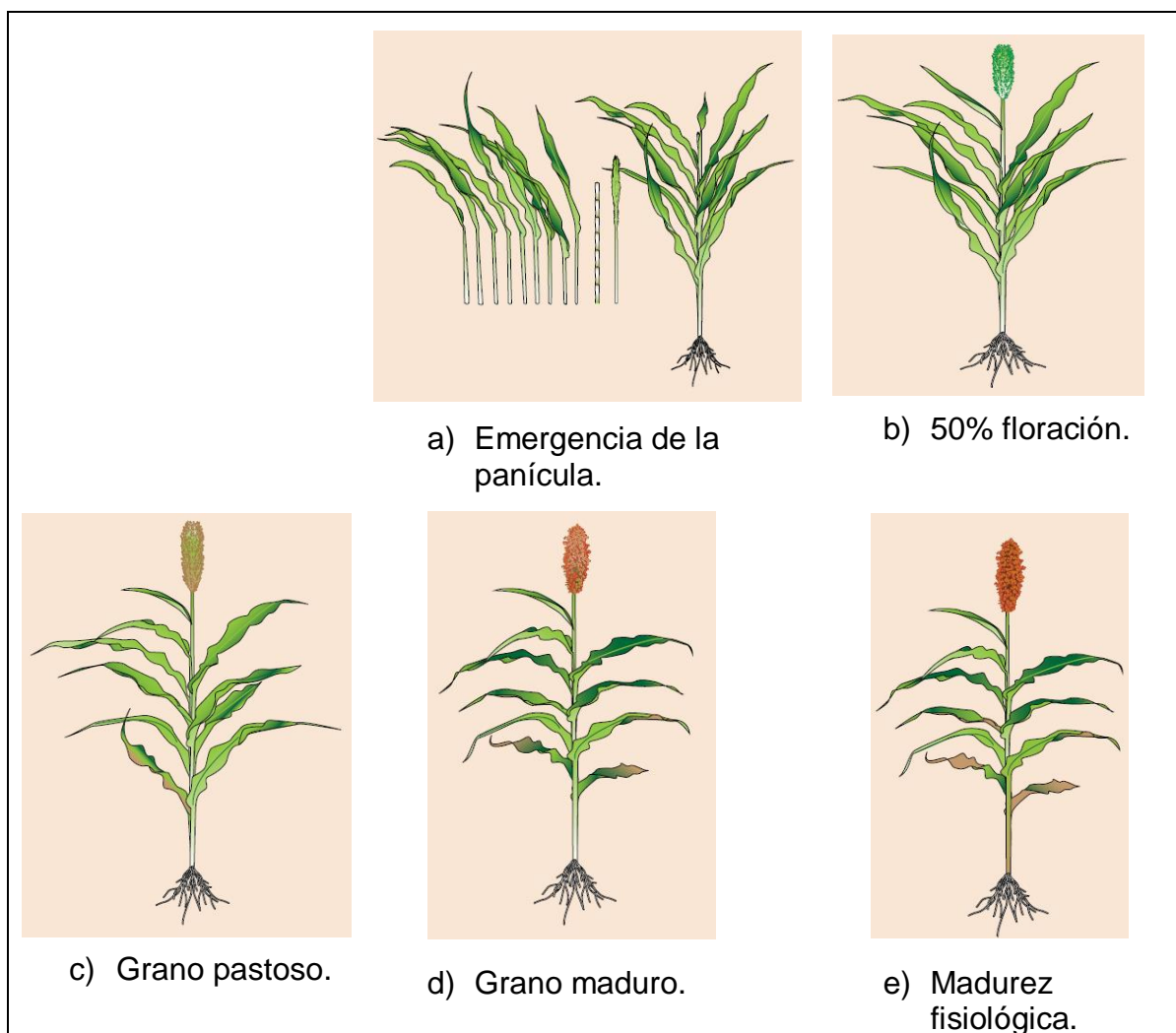
❖ Etapa 9: Madurez fisiológica

En esta etapa se alcanza el máximo peso seco de la planta. En los granos se forma un punto oscuro. La humedad del grano varía entre 25 y 35%. El momento de cosecha depende de las condiciones ambientales (Figura 5e).





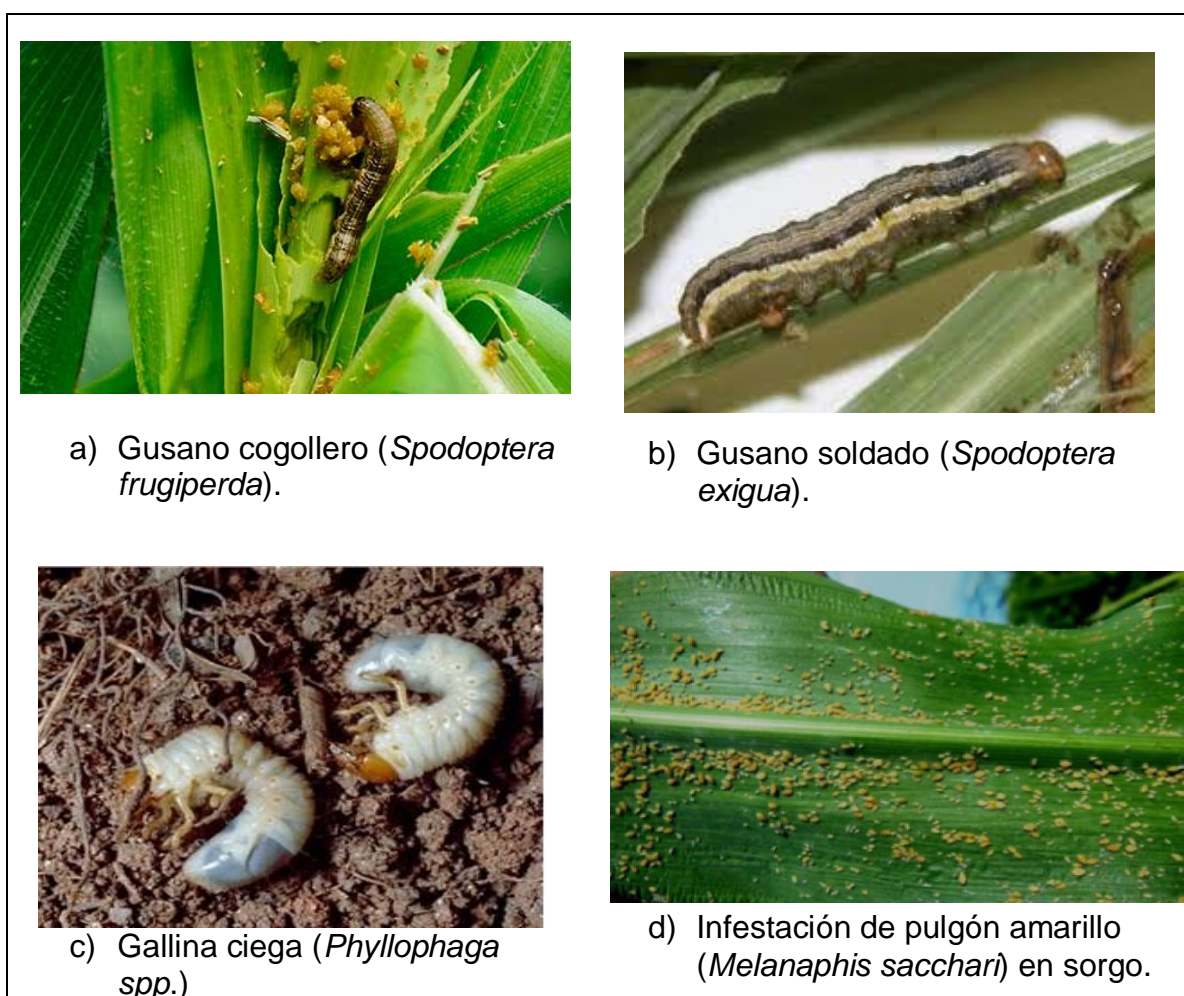
**Figura 4.** Etapa vegetativa de la planta de sorgo.



**Figura 5.** Etapa reproductiva de la planta de sorgo.

## 2.8. Principales plagas

Las plagas constituyen un factor limitante de la producción cuando superan cierto umbral de densidad. Existen distintas plagas que atacan las plantas en las etapas sucesivas de crecimiento, ocasionando mermas variables en la producción de grano. El manejo integrado de las plagas conduce al control de las principales, que son aquellas que se presentan periódicamente y poseen capacidad para infligir los mayores daños (INTA, 2011).



**Figura 6.** Principales plagas en el cultivo de sorgo.

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

El gusano cogollero (Figura 6a), es una de las plagas de mayor importancia económica del cultivo del sorgo, pues durante los últimos cinco años su incidencia ha aumentado considerablemente, convirtiéndose en un problema para los productores tanto en condiciones de riego como de temporal. 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. Así pues, su ciclo consta de cuatro estadios: huevecillo, larva, pupa y adulto, siendo la larva la que ocasiona el daño al cultivo (Río, 2016).

En el cultivo de sorgo, el gusano cogollero corta las plántulas en la base y se alimenta de hojas recién formadas, raspa el tallo, daña la panícula antes de su emergencia y consume los granos en desarrollo. Puede actuar como cortador o barrenador (Casmuz *et al.*, 2010).

### **2.8.2. Gusano soldado (*Spodoptera exigua*)**

El gusano soldado (Figura 6b), es una de las plagas más agresivas para el sorgo por su tasa de consumo, ya que puede defoliar completamente al cultivo. 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. Existen diferencias importantes en cuanto a comportamiento entre estas dos especies, sin embargo, las dos presentan cuatro estadios: huevecillo, larva, pupa y adulto. 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*). La pupa es de color café brillante y se encuentra por debajo de la tierra. El adulto es una palomilla de color café grisáceo en el caso de *Mythimna* y gris claro con una coloración anaranjada en el caso de *Spodoptera* (CESAVEG, 2016).

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

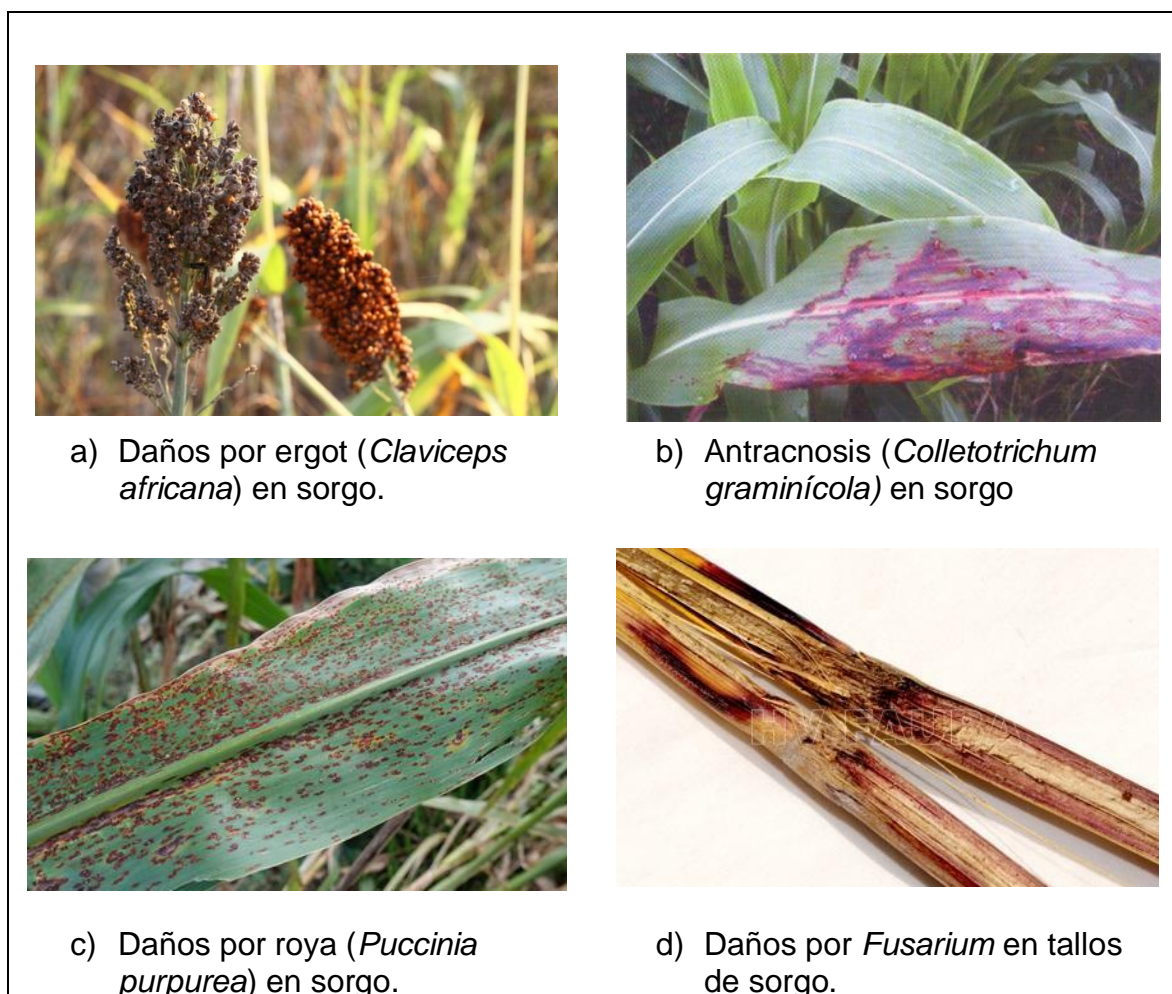
La gallina ciega (Figura 6c), es una plaga de la raíz, que se presenta generalmente en los sorgos de temporal, aunque su incidencia no sea tan importante como en el maíz, suele representar pérdidas importantes. Es una plaga anual, el adulto es de color café y surge en cuanto la temporada de lluvias se ha establecido. Los adultos se aparean y la hembra se entierra en las parcelas de 5 a 10 cm de profundidad, donde oviposita sus huevecillos de color blanco aperlados, en forma de balón. La incubación de los huevecillos dura de 25 a 30 días, posteriormente eclosionan y emerge la larva, a la que se le conoce como gallina ciega. La larva es de color beige, con la cabeza café, patas bien desarrolladas, la mandíbula es fuerte, lo que le facilita alimentarse de las raíces. 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. A partir del mes de enero, la larva entra en una fase de pupa, hasta convertirse en adulto, el que estará en una especie de cocón y saldrá del suelo cuando se establezca el temporal de lluvias (CESAVEG, 2016).

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

El pulgón amarillo del sorgo (Figura 6d), afecta al cultivo de sorgo en todas las etapas de desarrollo, sin embargo, el daño es mayor cuando el cultivo tiene menor desarrollo vegetativo. Normalmente, infesta el cultivo a partir del embuche o al inicio de la floración, aunque en algunas regiones las infestaciones de las plantas ocurren prácticamente desde la emergencia del cultivo. Esta plaga causa daños indirectos al alimentarse de la savia de la planta, provocando la pérdida del vigor y el follaje, adquiere un color amarillo y posteriormente café-rojizo, las plantas así afectadas, no desarrollan grano o no llegan a su tamaño normal, esto produce una pérdida de rendimiento que varía entre el 70 y 100%, si no se implementan medidas de control oportunas (Cortés, 2018).

Esta especie se distribuye en los estados de Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila, Sonora, Durango, Sinaloa, Jalisco, Querétaro, Puebla, San Luis Potosí, Guanajuato, Morelos, Nayarit, Michoacán, Colima, Veracruz y Oaxaca (Rodríguez y Terán, 2015).

## 2.9. Principales enfermedades



**Figura 7.** Principales enfermedades en el cultivo de sorgo.

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

El ergot del sorgo (Figura 7a), es producida por el hongo *Claviceps africana*, fue reportada por vez primera en India en 1917, donde se hizo endémica y se mantuvo restringida en Asia. En cuanto a su distribución se conoce que hizo su aparición en forma epidémica durante 1995-1996 en Brasil, Argentina, Colombia y Centroamérica. Es una enfermedad de suma importancia en la producción de semilla, ya que afecta la polinización, fertilización y formación de la semilla (Bandyopadhyay *et al.*, 1996).

En México se presentó por primera vez en febrero de 1997, en la localidad de San Fernando, Tamaulipas y en la región de la Huasteca en San Luis Potosí y Veracruz. En el área de El Bajío en los estados de Guanajuato, Querétaro, Michoacán y Jalisco, se presentó en siembras comerciales durante los meses de agosto y septiembre de 1997 (Torres y Montes, 1999). Tamaulipas y El Bajío cubren 87% de la superficie total (1.4 millones de hectáreas) cultivadas con sorgo en México, por lo que destaca que, durante un periodo de ocho meses, el ergot se diseminó en estas zonas productoras (Acosta, 1997).

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 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. 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 (INIFAP, 2022).

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

Se presenta en tres partes de la planta de sorgo: La hoja, la panícula y el pedúnculo. La manifestación más importante de la enfermedad es la del pedúnculo, porque el daño se traduce en la producción de panojas pequeñas y de

granos vanos, ya que el hongo interrumpe el flujo del material asimilable. El ataque de este patógeno se ve favorecido por las condiciones ambientales, por ejemplo, una humedad relativa alta (Mena, 1986).

La antracnosis (Figura 7b), comúnmente aparece de 30-40 días después de la emergencia y se presenta en hojas de genotipos susceptibles durante el estado de crecimiento. Los síntomas en sorgo varían, dependiendo del cultivar y las condiciones de tiempo prevalecientes. Los síntomas típicos son manchas pequeñas circulares elípticas y alargadas usualmente con un diámetro de 5 mm o menos. Las manchas elípticas son generalmente de 5-3 mm de longitud, pero podrían superar los 20 mm. La infección se puede propagar desde las hojas, hacia los tallos o el tallo se puede infectar a través de las raíces (FAO, 1980).

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

Es una de las principales enfermedades con mayor incidencia y severidad que se presenta en el cultivo. Los sorgos mejorados son afectados con menor incidencia, ya que se les ha incorporado resistencia a través de los programas de mejoramiento. 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, volviendo inservible el follaje para la alimentación del ganado (CENTA, 2018).

Los síntomas de la roya (Figura 7c), se expresan en plantas de 1.5 a 3 meses de edad, sobre ambas superficies de la hoja aparecen manchas rojas, púrpura o castañas, el color depende de la pigmentación de la variedad. Hay cultivares que responden con reacciones de hipersensibilidad, pero en aquellos más susceptibles, los puntos se agrandan para formar pústulas rojizas oscuras entre las nervaduras de las hojas. Las esporas de *Puccinia purpurea* tienen corta vida, ante la ausencia del hospedante vivo y vigorosos, en especial los lotes con alta fertilización (Díaz *et al.*, 2009).



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

El tizón de la panícula (Figura 7d), 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).

#### **2.10. Mejoramiento genético del sorgo**

El mejoramiento genético de sorgo en México, inició en el año de 1944 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 en nuestro país. Los programas de mejoramiento se han enfocado a la generación de material genético para diversos nichos de mercado, entre los que sobresalen el de alimento balanceado, alimento para consumo humano y el de producción de biocombustibles. En 1961 se creó el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), donde la estación experimental de Roque, Guanajuato fue la primera en la generación de tecnologías sobre el cultivo de sorgo.

El sorgo ha pasado por varias modificaciones relacionadas con la ingeniería genética, lo que ha resultado en el desarrollo de cultivares tempranos con alto rendimiento de grano y altura de planta ideal, para la cosecha (Cisneros-López *et al.*, 2017).

El rendimiento de grano y sus componentes son caracteres de herencia cuantitativa; por lo tanto, es necesario estimar el tipo y la magnitud de acción de los genes involucrados para seleccionar el método apropiado de mejoramiento (Premalatha *et al.*, 2006).

En resumen, el mejoramiento genético tiene como objetivo general el diseño y síntesis de nuevas variedades de plantas, para que estas se ajusten en su crecimiento a las variaciones de los factores del ambiente de producción para el que fueron diseñadas (Valdés, 1997).

### **2.11. Líneas A, B y R de sorgo**

En el mejoramiento genético y 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).

La línea R es capaz de restaurar la fertilidad en la cruce A x R, en donde estas líneas se seleccionan, por su alta capacidad para producir una progenie híbrida en donde se presenta un vigor aceptable para rendimiento de grano. A su vez, la producción de semilla híbrida de sorgo involucra a una línea R restauradora y una línea B mantenedora como fuentes de polen, las R producen más polen viable que las B (Cisneros-López *et al.*, 2012).

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.

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).

### **2.12. Incremento y mantenimiento de líneas experimentales de sorgo**

La integridad genética de una línea de sorgo se mantiene mediante la autofecundación, cuando se regeneran gran cantidad de accesiones simultáneamente y no es posible aislarlas, es necesario cubrir las panículas de sorgo con bolsas de papel, previo a la anthesis para mantener su pureza en la producción de semilla básica. La semilla original conserva los caracteres que le dan superioridad a una variedad y constituye la fuente inicial para la producción de semillas en las categorías básica, registrada y certificada (SNICS, 2007).

Inicialmente, se deberá disponer de la mayor cantidad posible de variabilidad genética (germoplasma de sorgo). Realizar el avance generacional de líneas segregantes, procedentes en  $F_2$  de híbridos comerciales de sorgo mediante selección, bajo el método genealógico, para formar nuevas progenies de las cuales se obtendrán líneas avanzadas para formar nuevas variedades de sorgo tipo línea pura, las cuales han demostrado ser competitivas, en las regiones en donde los híbridos de sorgo, no explotan su mayor potencial.

Es importante mantener la pureza genética de los genotipos, para lo cual se deberá obtener semilla de autofecundación y realizar el desmezcle varietal, para eliminar plantas fuera de tipo en los lotes de producción de semilla de sorgo.

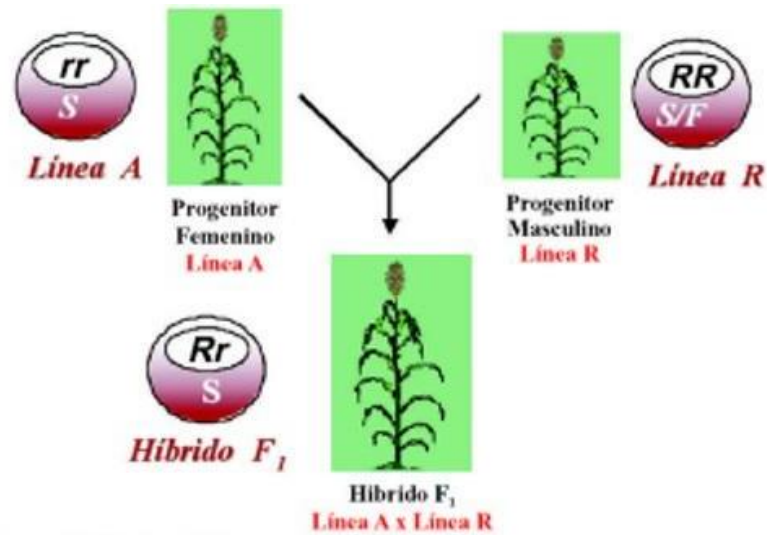
El incremento y la producción de semilla básica de las líneas progenitoras en lotes aislados, es fundamental para asegurar la pureza genética. A la vez, se pueden establecer parcelas demostrativas.

En la producción de semilla híbrida experimental de sorgo, se recomienda establecer arreglos de siembra en una relación de siembra surcos alternos 4:2,12:4 hembra-macho en un campo aislado, dependiendo de las características agronómicas de los progenitores hembra-macho.

### 2.13. Producción de semilla híbrida

En la producción comercial de semilla híbrida, se obtiene el híbrido A x R por surcos alternos de líneas A y R en un lote aislado. La línea A es polinizada por el polen de la línea R llevado por el viento. De modo ordinario, se siembran doce surcos de la línea A androestéril por cada cuatro surcos de la línea R polinizadora. Las líneas B y las líneas R se mantienen embolsando las inflorescencias y cosechando las semillas autofecundadas, o bien cosechando las semillas de un campo aislado (Poehlman, 2005).

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).



Fuente: Clará y D´Croz, 2008.

**Figura 8.** Producción de semilla híbrida simple de sorgo.

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).

En el noreste de México predominan las siembras con semillas híbridas de sorgo, representando este insumo un alto costo en el mercado de semillas mejoradas, ya la vez estos híbridos son desarrollados para ambientes favorables al cultivo, por lo tanto, una alternativa es utilizar semilla de variedades tipo línea pura (Valdés *et al.*, 2004) ya que es más económica y fácil de producir, por lo tanto puede ser utilizado por los agricultores en sus próximos ciclos agrícolas, además las líneas pueden competir con los híbridos en ambientes no favorables, si son seleccionados bajo estos ambientes, pudiendo incluso superar en rendimiento de grano a los híbridos comerciales (Flores y Valdés, 2009).

## **2.14. Criterios y especificaciones de campo**

### **2.14.1. Unidad de inscripción**

Es la superficie continua para la producción de semilla de sorgo en categoría Básica, Registrada y/o Certificada.

El sorgo, no deberá sembrarse en terrenos donde, el año anterior, hayan sido sembrados con una variedad o categoría diferente, o con zacate Sudán (*Sorghum x drummondii*(Steud.) Millsp. & Chase) o con otra clase de sorgo. En etapas críticas del cultivo, no deberá haber presencia de zacate Jhonson (*Sorghum halapense*).

### **2.14.2. Aislamiento**

El sorgo presenta autopolinización y aunque en promedio, el sorgo para grano puede presentar un 6 % de cruzamiento natural; en sorgo forrajero, como el Sudán, el cruzamiento natural puede, en algunos casos, superar el 75 %.

Los lotes para producción de semilla calificada, deben estar aislados de cualquier otro terreno cultivado con sorgo o con zacates de acuerdo a los siguientes lineamientos.

**Cuadro 2.** 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. forrajero	500	500	300	300
	S. escobero	5000	5000	5000	5000
	Z. Johnson	600	600	500	500
	Z. Sudán	1000	1000	1000	1000
Forrajero	S. grano	500	500	300	300
	S. forrajero	500	500	300	300
	S. escobero	5000	5000	5000	5000
	Z. Johnson	600	600	500	500
	Z. Sudán	1000	1000	1000	1000
Escobero	S. grano	400	400	300	300
	S. forrajero	500	500	300	300
	S. escobero	5000	5000	5000	5000
	Z. Johnson	400	400	300	300
	Z. Sudán	600	600	400	400

Fuente: SNICS, 2018.

### 2.14.3. Número de inspecciones

Los lotes destinados a la producción de semilla calificada de cualquier categoría deben de inspeccionarse principalmente en las siguientes etapas de cultivo:

- a) Floración, preferentemente en el inicio para comprobar el aislamiento. Se deben eliminar previo a la floración todas las plantas fuera de tipo que puedan dar origen a una contaminación.

- b) Antes de la cosecha, pero después de que la semilla empiece a adquirir el color característico de la madurez, es necesario, determinar la incidencia de las enfermedades de la semilla y verificar las características varietales.

#### 2.14.4. Tolerancias de campo

**Cuadro 3.** Tolerancias en las categorías de semillas.

Factor	Categoría de semilla			
	Básica	Registrada	Certificada	Habilitada
Plantas de tipo dudoso (máximo)	0	1 en 10,000	1 en 1,000	2 en 1,000
Plantas fuera de tipo (máximo)	0	1 en 10,000	1 en 1,000	2 en 1,000
Plantas de otros cultivos	0	0	0	0
Plantas de maleza <sup>a</sup>	0	0	0	0
Panojas completas afectadas con tizón ( <i>Fusarium moniliforme</i> )	0	0	1 en 10,000	1 en 10,000
Panojas con algunos granos con tizón ( <i>Fusarium moniliforme</i> )	0	2 panojas por ha.	4 panojas por ha.	6 panojas por ha.

<sup>a</sup> conforme a la normatividad vigente.

Fuente: SNICS, 2018.

#### 2.15. Criterios y especificaciones de laboratorio

Los estándares a verificar en el análisis de laboratorio para otorgar el certificado de semilla calificada, varían de acuerdo a las categorías de semillas. En el Cuadro 4, se establecen los porcentajes mínimos que se deben cumplir en cuanto al porcentaje de semilla pura y semillas no pertenecientes a la variedad, así como los que corresponden a germinación y humedad.

**Cuadro 4.** Estándares para las categorías en la producción de variedades.

Factor	Categoría de semilla			
	Básica	Registrada	Certificada	Habilitada
Semilla pura, mínimo (%)	99	98	97	95
Materia inerte, máximo (%)	1	2	3	5
Semillas de otros cultivos (máximo)	1 en 10,000	3 en 10,000	7 en 10,000	10 en 10,000
Semillas de otras variedades (máximo) <sup>a</sup>	1 en 20,000	1 en 10,000	1 en 2,000	5 en 2,000
Semillas de maleza <sup>b</sup>	0	0	0	0
Germinación mínimo (%)	85	85	85	80
Humedad máximo (%)	13	13	13	13

<sup>a</sup> Este factor es calificado en tanto sea posible identificar variantes entre variedades.

<sup>b</sup> Conforme a Normatividad vigente.

Fuente: SNICS, 2018.

En el caso de la categoría de semilla Declarada, es obligatorio anexar a la etiqueta el contenido de semillas del envase 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.

En el caso de la semilla calificada, la fecha del último análisis de germinación equivale a la fecha de certificación (SNICS, 2018).



## 2.16. Composición nutricional del sorgo

Este cereal es muy común en la dieta de la población en India y en regiones del África central, se trata de un alimento muy similar al maíz en cuanto a sus propiedades e incluso por su aspecto. Así, a partir de su grano se elaboran harinas con las que se preparan panes. También se utiliza como ingrediente en bebidas alcohólicas.

El sorgo destaca por su alto valor energético, especialmente en hidratos de carbono, por lo que es aconsejable para personas que realizan una alta actividad física. Asimismo, al no contener gluten puede funcionar como sustituto del trigo para personas que padecen la enfermedad celíaca.

Este cereal destaca por un alto contenido en fibra, que ayuda a combatir el estreñimiento y regula el tránsito intestinal. Al mismo tiempo, el aporte en hierro previene problemas de anemia. Otra de sus propiedades se basa en regular el nivel de azúcar en la sangre.

El grano de sorgo tiene niveles moderadamente altos de hierro (>40 ppm) y zinc (>30 ppm) con una variabilidad considerable en las variedades locales (hierro > 70 ppm y zinc > 50 ppm) y puede complementar los esfuerzos en curso en el enriquecimiento de alimentos para reducir la desnutrición de micronutrientes globalmente (ICRISAT, 2020).

**Cuadro 5.** Valor nutricional del sorgo por 100 g (3.5 oz).

Energía	1.418 kJ (339 kcal)
Carbohidratos	74,63 g
Fibra dietética	6,3 g
Grasas	3,30 g
Proteína	11.30 g

Fuente: ICRISAT, 2020.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Localización del sitio experimental**

El presente trabajo de investigación se estableció durante el ciclo agrícola primavera-verano, 2021, bajo condiciones de campo abierto en las instalaciones de la UAAAN, en el Campo Experimental “Bajío” en Buenavista, Saltillo, Coahuila, el cual se encuentra ubicado a una latitud de 25° 21'33" N, longitud de 101°02'20" O y a una altitud de 1, 731 msnm (Google Earth, 2021). Con una temperatura media anual de 19.8 °C y precipitación total anual media 350-400 mm (Campos Experimentales UAAAN, 2011).

Los lotes experimentales se establecieron en surcos de 4 metros de largo, con una separación de 0.80 metros entre surcos, con una densidad promedio de 10 plantas por metro lineal.

#### **3.2. Germoplasma utilizado**

Para la realización de esta investigación se utilizaron semillas de cuatro líneas isogénicas A (androestéril), B (androfértil); nueve líneas R (restauradoras de la androfertilidad). Además, se evaluó el potencial agronómico de un grupo de ocho líneas androestériles experimentales de sorgo (Cuadro 6), perteneciente al Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS) del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN).

Estos genotipos se germinaron en charolas, ya que la mayoría de las líneas tenían porcentajes muy bajos de germinación.

#### **3.3. Tratamientos**

Los genotipos de sorgo que se establecieron en el ciclo primavera-verano 2021 para esta investigación, se dividieron en tres grupos. Grupo 1: líneas isogénicas A, B; Grupo 2: líneas R; Grupo 3: líneas androestériles A. Considerando tres repeticiones por tratamiento.

**Cuadro 6.** Líneas experimentales de sorgo, utilizadas en el trabajo de investigación: líneas isogénicas A, B; líneas restauradoras de la androfertilidad R y grupo de líneas androestériles A.

Número	Líneas A,B	Número	Líneas R	Número	Líneas A
1	WA	1	150 R	1	398 A
2	1823 A	2	151 R	2	378 A
3	1831 A	3	154 R	3	1829 A
4	2921 A	4	162 R	4	TX2923 A
5	WB	5	10351 R	5	TX2924 A
6	1823 B	6	90538 R	6	TX2925 A
7	1831 B	7	TX278 R	7	TX2926 A
8	2921 B	8	TX430 R	8	TX2927 A
		9	TX435		

### **3.4. Manejo agronómico**

#### **3.4.1. 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 y finalmente se establecieron los surcos.

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

#### **3.4.2. Siembra y trasplante**

La siembra se realizó en charolas germinadoras, ya que estos genotipos estuvieron resguardados por diez años, por lo tanto, presentaron un bajo porcentaje de germinación. La siembra se realizó el día 21 de mayo del año 2021.

Cuando las plantas ya tenían sus dos hojas verdaderas y con una altura aproximado de 10 centímetros, se procedió a realizar el trasplante en la parcela experimental. El trasplante se realizó el día 5 de junio del mismo año.

Posterior al trasplante, se colocaron las cintillas para el sistema de riego por goteo y se verificó que los goteros funcionaran correctamente.

### **3.4.3. Fertilización**

Para la fertilización del cultivo 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 2 a 3 veces por semana.

También se aplicó fertilizante granulado a base de la fórmula 18-46-00 y aplicaciones foliares con la fórmula 20-20-20. De igual manera, se aplicaron biorreguladores de crecimiento a base de citocininas y auxinas, para promover el crecimiento y desarrollo de las plantas.

### **3.4.4. Control de malezas**

Previo al trasplante, se realizó la aplicación de un herbicida pre-emergente a base del ingrediente activo Atrazina, con la finalidad de reducir problemas de malezas en el cultivo.

Posteriormente, el control se realizó de manera manual mediante el uso de azadón, procurando que las malezas no compitieran con el cultivo.

### **3.4.5. Control de plagas y enfermedades**

Para el control de plagas se realizaron diversas aplicaciones de un insecticida a base del ingrediente activo Clorpirifos etil, para controlar el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) con una concentración de 3 ml/L. Para controlar el pulgón amarillo (*Melanaphis sacchari*) se realizaron aplicaciones de un insecticida a base del ingrediente activo Cipermetrina a una concentración de 3 ml/L.

Para controlar la población del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), también se utilizó un método de control cultural, mediante el uso de trampas con feromonas. Este método fue muy efectivo, ya que redujo de manera considerable la población de insectos plaga.

### **3.4.6. Incremento de líneas isogénicas A, B y R de sorgo**

Para el incremento de las líneas isogénicas A, B se realizó la 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 glazine al inicio de la apertura de las flores y de la misma manera se procedió con las líneas B poco antes del inicio de la antesis. Al momento que las panículas de las líneas A, habían alcanzado del 90 al 100% de estigmas receptivos, se realizó la polinización con polen de la línea isogénica B correspondiente, manteniendo posteriormente las panículas de la línea B cubiertas para obtener semilla de autofecundación. En las líneas R, se cubrieron las panículas al inicio de antesis, para evitar contaminación de alguna fuente de polen extraño y de esta manera obtener semilla de autofecundación.

### **3.4.7. Cosecha**

La cosecha se realizó de manera manual durante el mes de noviembre del año 2021. Para la cosecha se utilizaron herramientas como tijeras podadoras y hoz, las panículas se agruparon por líneas y se amarraron con rafia para su traslado al lugar de resguardo.

Posteriormente, se procedió a secar las panículas de forma natural, expuestas al sol para bajar el contenido de humedad a un rango de 10-12 % aproximadamente.

### **3.4.8. Trilla de las semillas**

El trillado se llevó a cabo de forma manual, durante el mes de diciembre del año 2021, este procedimiento consistió en separar los granos de la panícula con la ayuda de una pieza y caja de madera, con el objetivo de separar las glumas de las semillas.

Para limpiar las semillas y separar todas las impurezas que pudiera contener, se utilizó un ventilador convencional, posteriormente, se almacenaron

las semillas por grupos, en bolsas de papel previamente identificadas para la toma de datos y resguardo de las mismas.

### **3.5. Variables evaluadas**

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

#### **3.5.1. Días a floración**

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

#### **3.5.2. Altura de la planta**

Se utilizó una regla graduada en centímetros (cm) y se midió desde la base del tallo hasta la parte apical de la panícula, expresándose en cm en etapa de madurez fisiológica del grano.

#### **3.5.3. Longitud de panícula**

Esta variable se midió con una cinta métrica de 1 m, y se midió desde el punto de inserción de la panícula hasta la parte apical.

#### **3.5.4. Longitud de exersión**

Esta variable se midió con una cinta métrica de 1 m, desde la hoja bandera hasta el punto de inserción de la panícula.

#### **3.5.5. Diámetro de tallo**

Utilizando un vernier electrónico se midió el diámetro del tallo en la parte inferior de la planta a una altura de 10 cm del nivel del suelo, durante la etapa final del cultivo en etapa de madurez fisiológica reportándose en centímetros (cm).

### **3.5.6. Concentración de azúcares (Grados Brix)**

Se evaluaron tres muestras por planta (parte basal, media y superior), tomadas al azar que se encontraban en competencia completa en la parcela experimental, en donde se extrajo el jugo del tallo de la planta en el entrenudo de la parte central y se colocó en un refractómetro portátil (Refractómetro de mano 2806 VEE GEE). Posteriormente, se obtuvo la lectura correspondiente de la concentración de azúcares en grados brix en la planta de sorgo.

### **3.5.7. Rendimiento de grano por planta**

Al final del ciclo agrícola, posterior a la trilla se registró el peso total, dividido entre el número de panículas por parcela, para estimar el rendimiento de grano en gramos de semilla por planta en las líneas experimentales de sorgo, se colocaron en bolsas de papel y se pesaron en una balanza analítica (AND modelo HR-200) y el resultado se expresó en gramos por planta ( $\text{g planta}^{-1}$ ).

## **3.6. Análisis estadístico univariado**

En el presente trabajo de investigación se utilizaron 25 líneas experimentales de sorgo divididas en tres grupos: grupo 1: ocho líneas isogénicas A, B; grupo 2: nueve líneas R; grupo 3: ocho líneas androestériles A. Realizando un análisis de varianza por cada grupo de líneas experimentales.

Los datos de todas las variables se analizaron conforme al diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), bajo el siguiente modelo estadístico.

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

Donde:

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

$\mu$ = 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  $i$ .

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

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

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

Donde:

C.V. = Coeficiente de variación.

CMEE = Cuadrado medio del error experimental.

$\bar{X}$  = Media general de tratamientos.

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

Prueba de medias (Tukey)

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

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

Dónde:

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

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



### 3.7. Análisis estadístico multivariado

Se realizó un análisis multivariado para conocer la relación entre las variables y las asociaciones entre genotipos mediante el análisis de componentes principales.

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

1. Es una combinación lineal de las  $x$ 's. Por ejemplo, para el primer componente.  $Y_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1p}x_p = a_1'x$ . Donde  $x = [x_1 \ x_2 \dots \ x_p]$  es el vector de valores muestrales de las variables originales, y  $a_{ij}$  es el valor del  $j$ -ésimo elemento del vector característico  $a_1$  asociado al valor característico más grande  $\lambda_1$ .
2. En forma matricial para todos los componentes,  $Y = XA$ , en donde  $Y$  es la matriz de orden  $n \times p$  de componentes principales;  $A$  es una matriz de orden  $p \times p$  de vectores característicos y  $X$  es la matriz de orden  $n \times p$  de observaciones.
3. La suma de cuadrados de los coeficientes  $a_{ij}$  para cada  $i$  ( $j=1, 2, \dots, p$ ) es la unidad.
4. De todas las posibles combinaciones,  $Y_1$  tiene la máxima varianza:  $\text{Var}(Y_1) > \text{Var}(Y_2) > \dots > \text{Var}(Y_p)$ .
5. Las  $Y$  no están correlacionadas, por lo que los componentes generados no están asociados entre sí.

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

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Líneas isogénicas A, B de sorgo

Para las variables grados Brix (GB), altura de planta (AP) y rendimiento (REN), el análisis de varianza detectó diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre tratamientos (Cuadro 7). Por otra parte, para las variables días a floración (DF), longitud de panícula (LP), longitud de exersión (LE) y diámetro de tallo (DT) no hubo diferencias entre tratamientos. Las variables evaluadas presentaron bajos coeficientes de variación (C.V.= 2.36-13.53%), excepto para la variable LE (C.V.=38.2%).

**Cuadro 7.** Cuadrados medios del análisis de varianza de siete características agronómicas de líneas isogénicas A, B de sorgo. Campo Experimental UAAAN. Ciclo primavera-verano, 2021.

F.V.	G.L.	Cuadrados medios						
		DF	GB	AP	LP	LE	DT	REN
Trat.	7	7.767	6.504**	295.642**	15.602	15.148	0.066	711.281**
Bloques	2	4.500	2.119	115.959	4.863	1.425	0.057	26.335
Error	14	3.071	1.348	46.773	6.745	12.626	0.060	10.201
Total	23							
C.V. (%)		2.36	12.77	5.65	9.52	38.20	13.53	6.80
$\bar{x}$		73.98	9.09	120.99	27.27	9.30	1.81	46.94

F.V.=Fuentes de variación, G.L.=Grados de libertad, Trat=Tratamientos, DF= días a floración, GB= Grados Brix, AP= altura de planta, LP= longitud de panícula, LE= longitud de exersión, DT= diámetro de tallo, REN= rendimiento. \*\*Significativo al1% de probabilidad. C.V.%= coeficiente de variación.

En la comparación de medias (Cuadro 8), se observa que no se presentaron diferencias significativas para la variable días a floración entre las líneas isogénicas A, B de las cuales las líneas W y 1831 mostraron una buena sincronización floral, esta característica es muy importante en la producción de semilla híbrida de sorgo. Las líneas isogénicas 1823 y 2921 presentaron diferencias de un día para la sincronización floral, por lo tanto, se debe corregir esta característica mediante selección en los próximos ciclos agrícolas, para definir los días de siembra de estas líneas progenitoras con la finalidad de sincronizar la floración. El par de líneas isogénicas 1831, fueron cuatro días más precoces que las líneas isogénicas 2921, las cuales fueron las más tardías.

**Cuadro 8.** Comparación de medias de los caracteres agronómicos evaluados de líneas isogénicas de sorgo A, B. Campo Experimental UAAAN. Ciclo primavera-verano, 2021.

Línea	DF (días)		GB (°Brix)		AP (cm)		LP (cm)	
	Media	Comp.	Media	Comp.	Media	Comp.	Media	Comp.
W A	75.50 a	A=B	7.50 b	A<B	107.65 b	A=B	28.53 a	A=B
W B	75.00 a		11.73 a		109.00 b		30.00 a	
1823 A	73.67 a	A=B	10.26 a	A=B	132.82 a	A=B	24.50 a	A=B
1823 B	72.67 a		9.60 a		133.72 a		27.80 a	
1831 A	72.00 a	A=B	9.43 a	A>B	115.90 a	A=B	30.00 a	A=B
1831 B	72.00 a		7.70 b		119.26 a		27.56 a	
2921 A	76.00 a	A=B	8.73 a	A>B	126.83 a	A=B	24.43 a	A=B
2921 B	75.00 a		7.73 b		122.71 a		25.31 a	
Tukey 0.05	5.048		3.34		19.70		7.479	
Línea	LE (cm)		DT (cm)		REN (g/pl)			
	Media	Comp.	Media	Comp.	Media	Comp.		
W A	13.36 a	A=B	1.825 a	A=B	29.010 d	A<B		
W B	9.00 a		2.073 a		38.673 c			
1823 A	7.35 a	A=B	1.875 a	A=B	32.998 c	A<B		
1823 B	9.03 a		1.767 a		68.392 a			
1831 A	6.53 a	A=B	1.836 a	A=B	48.580 b	A<B		
1831 B	11.46 a		1.843 a		68.673 a			
2921 A	7.80 a	A=B	1.536 a	A=B	36.560 c	A<B		
2921 B	9.81 a		1.751 a		52.641 b			
Tukey 0.05	10.24		0.70		9.20			

Líneas isogénicas A, B = no hay diferencias estadísticas de comparación en el carácter evaluado; A>B, la línea A presenta una tendencia mayor de comparación, respecto a su línea isogénicas B; A<B, la línea A presenta una tendencia menor de comparación, respecto a su línea isogénicas B. Medias en la columna con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey  $\leq$  0.05).

Para la variable GB se puede observar un rango de 7.5-11.73 en la concentración de azúcares, siendo las líneas isogénicas W las que más contrastaron (A<B).

Las líneas isogénicas W presentaron menor altura de planta ( $p \leq 0.05$ ) en comparación a las demás, siendo las líneas isogénicas 1823 las de mayor altura. En esta variable se puede observar que no se presentaron diferencias estadísticas de comparación en los cuatro pares de líneas evaluadas (A=B).

En la comparación de medias para la variable LP, no se presentaron diferencias estadísticas en los cuatro pares de líneas isogénicas (A=B), donde el rango la longitud de panícula, fue de 24.43 - 30.0 cm.

En este experimento las líneas WA y 1831B, fueron las que obtuvieron mayor LE (13.36 y 11.46 cm, respectivamente), el resto de las líneas tuvieron una longitud menor a 10 cm.

La longitud de exersión es un factor importante a considerar al momento de la trilla mecánica, ya que una menor LE provoca a que también se cosechen parte del tallo y de las hojas, provocando impurezas al grano, por lo tanto, se aumenta el contenido de humedad en el grano, ocasionando una menor calidad.

El grosor del tallo es un factor importante, para reducir el acame en las plantas de sorgo, en esta variable no hubo diferencias estadísticas de comparación considerable. El genotipo WB fue la que obtuvo el mayor grosor de tallo (2.073 cm).

Las líneas B obtuvieron un mayor rendimiento (g/pl) en comparación con las líneas A, esto se debe a que las líneas B son de autofecundación, y en las líneas A la polinización se realiza manualmente, lo que puede ocasionar que no se obtenga el 100% de éxito en la polinización (Flores *et al.*, 2013). Las líneas B con mayor rendimiento fueron 1823 y 1831 (Cuadro 8).

#### **4.2. 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, excepto para DT (Cuadro 9). Las variables evaluadas presentaron bajos coeficientes de variación (C.V. = 1.27-19.63), esto indica que la toma de datos en el experimento se realizó de manera adecuada.

**Cuadro 9.** Cuadrados medios del análisis de varianza de siete características agronómicas de líneas restauradoras de la androfertilidad de sorgo. Campo Experimental UAAAN. Ciclo primavera-verano, 2021.

F.V.	G.L.	Cuadrados medios						
		DF	GB	AP	LP	LE	DT	REN
Trat.	8	23.99**	2.60**	2384.52**	27.10**	83.02**	0.15	978.78**
Bloques	2	1.11	0.82	5.58	3.68	21.67	0.005	6.29
Error	16	0.91	0.15	38.80	4.02	7.74	0.068	15.93
Total	26							
C.V. (%)		1.27	4.58	5.33	8.44	19.63	15.99	8.02
$\bar{x}$		74.74	8.45	116.73	23.73	14.17	1.63	49.72

F.V.=Fuentes de variación, G.L.=Grados de libertad, Trat=Tratamientos, DF= días a floración, GB= grados Brix, AP= altura de planta, LP= longitud de panícula, LE= longitud de exersión, DT= diámetro de tallo, REN= rendimiento. \*\*Significativo al1% de probabilidad. C.V.%= coeficiente de variación.

En la comparación de prueba de medias para las líneas R (Cuadro 10), se puede observar que las líneas 6 (90538 R), 5 (10351 R) y 4 (162 R) son las más precoces y las que obtuvieron un mayor rendimiento de grano, en contraste con las líneas 9 (TX435 R), 2 (151 R) y 3 (154 R) que fueron estadísticamente ( $p \leq 0.05$ ) las más tardías y de menor rendimiento.

**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, 2021.

No.	Líneas R	DF (días)	GB (° Brix)	AP (cm)	LP (cm)	LE (cm)	DT (cm)	REN (g/pl)
6	90538 R	71.50 c	8.83 b	150.35 b	22.28 b	19.18 a	1.22 a	81.68 a
5	10351 R	72.00 c	10.33 a	171.33 a	25.36 a	14.66 a	1.46 a	67.77 b
4	162 R	71.67 c	8.97 b	116.37 c	24.75 a	10.64 b	1.85 a	60.94 b
8	TX430 R	76.00 b	7.50 c	97.33 d	21.16 b	13.06 b	1.50 a	53.68 c
1	150 R	73.00 c	7.56 c	104.96 c	25.93 a	10.23 b	1.86 a	50.39 c
7	TX278 R	75.00 b	7.73 c	116.33 c	21.06 b	20.03 a	1.57 a	37.70 d
9	TX435 R	78.00 a	8.60 b	77.56 e	19.16 b	6.76 b	1.67 a	33.87 d
2	151 R	76.50 a	7.66 c	103.08 c	25.05 a	10.65 b	1.55 a	31.52 d
3	154 R	79.00 a	8.81 b	113.26 c	28.76 a	22.25 a	1.92 a	29.89 d
Tukey 0.05		2.82	1.14	18.44	5.93	8.24	0.77	11.82

DF= días a floración, GB= grados Brix, AP= altura de planta, LP= longitud de panícula, LE= longitud de exersión, DT= diámetro de tallo, REN= rendimiento. Medias con letras iguales en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey  $\leq 0.05$ ).

Las líneas 6 (90538 R) y 5 (10351 R) obtuvieron un mayor contenido de azúcares y altura de planta. A diferencia de la línea 8 (TX430 R) que obtuvo el menor contenido de grados Brix y una reducida altura de planta.

Se puede observar que la longitud de panícula varió de 19.16 a 28.76 cm. La línea 6 (90538 R) tuvo una LP= 22.28 cm y un alto rendimiento (REN= 81.68 g/pl), esto indica que una mayor LP por lo general, no está directamente relacionada con un alto rendimiento como se observa en la línea 3 (154 R) (Cuadro 10).

Para la variable LE se observó una aceptable longitud mayor a 10 cm en las líneas evaluadas, excepto en la línea 9 (TX435 R) la cual presentó una LE= 6.76 cm.

En la variable DT, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre genotipos, sin embargo, existen genotipos con buen grosor de tallo como las líneas: 3 (154 R), 1 (150 R) y 4 (162 R).

#### **4.3. Sincronía floral entre las líneas A y R para producción de semilla híbrida**

En el Cuadro 11, se presentan las diferentes combinaciones que se pueden realizar entre las líneas A y R para la sincronización floral entre las líneas progenitoras para la producción de semilla híbrida de sorgo, de las cuales existen 36 posibles cruzas entre las líneas androestériles A y las líneas R restauradoras de la fertilidad.

Del total de cruzas posibles, se puede observar que cinco combinaciones de A x R, se pueden sembrar en el mismo día. Para las combinaciones restantes los días a floración varían desde uno a siete días de diferencia en la sincronización floral. En los programas de producción de semilla híbrida es fundamental la sincronización floral entre el macho polinizador y la línea hembra para asegurar una buena producción de semilla.

**Cuadro 11.** Combinaciones de días a floración en la siembra de líneas androestériles A y líneas restauradoras R, para la producción de semilla híbrida de sorgo. Campo Experimental UAAAN. Ciclo primavera-verano, 2021.

Líneas R (♂)	W A (♀) (76)	1823 A (♀) (74)	1831 A (♀) (72)	2921 A (♀) (76)
150 R (73 días)	R, 3 días > A	R, 1 día > A	R, 1 día < A	R, 3 días > A
151 R (77 días)	R, 1 día < A	R, 3 días < A	R, 5 días < A	R, 1 día < A
154 R (79 días)	R, 3 días < A	R, 5 días < A	R, 7 días < A	R, 3 días < A
162 R (72 días)	R, 4 días > A	R, 2 días > A	Mismo día	R, 4 días > A
10351 R (72 días)	R, 4 días > A	R, 2 días > A	Mismo día	R, 4 días > A
90538 R (72 días)	R, 4 días > A	R, 2 días > A	Mismo día	R, 4 días > A
TX278 R (75 días)	R, 1 día > A	R, 1 día < A	R, 3 días < A	R, 1 día > A
TX430 R (76 días)	Mismo día	R, 2 días < A	R, 4 días < A	Mismo día
TX435 R (78 días)	R, 2 días < A	R, 4 días < A	R, 6 días < A	R, 2 días < A

Línea R (♂) = Progenitor masculino restaurador de la androfertilidad, Línea A= Líneas androestériles.

< Indica los días antes de siembra de la línea correspondiente para una adecuada sincronización floral entre los progenitores.

> Indica los días después de siembra de la línea correspondiente para una adecuada sincronización floral entre los progenitores.

#### 4.4. Análisis de componentes principales para líneas R

En el Cuadro 12 se presentan los tres primeros componentes principales, con los cuales se explica el 85.6% de la variación acumulada. Con los dos primeros componentes principales se explica el 70.5% de la variación acumulada.

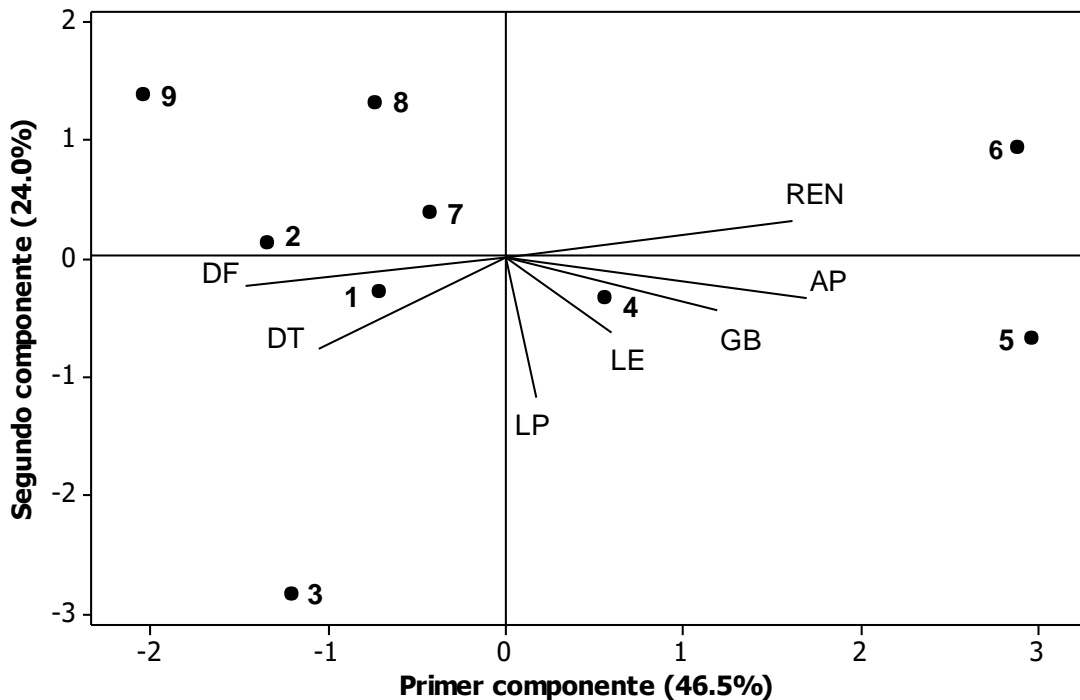
**Cuadro 12.** Valores y vectores propios para los tres primeros componentes principales de las variables evaluadas en genotipos de sorgo (*Sorghum bicolor*).

	CP1	CP2	CP3
Valor propio	3.2536	1.6816	1.0587
Proporción (%)	46.5	24.0	15.1
Acumulada (%)	46.5	<b>70.5</b>	85.6
Variables <sup>1</sup>	Vectores propios		
DF	<b>-0.450</b>	-0.138	0.378
GB	0.367	-0.265	-0.192
AP	<b>0.523</b>	-0.195	0.104
LP	0.053	<b>-0.701</b>	-0.179
LE	0.183	-0.370	<b>0.742</b>
DT	-0.323	<b>-0.457</b>	<b>-0.445</b>
REN	<b>0.498</b>	0.191	-0.169

DF= días a floración, GB= grados Brix, AP= altura de planta, LP= longitud de panícula, LE= longitud de exersión, DT= diámetro de tallo, REN= rendimiento. Variables de mayor peso representadas en negritas.

En el primer componente principal las variables de mayor importancia fueron: AP, REN y DF. En el segundo componente sobresalen las variables LP y DT (Cuadro 12).

En la gráfica biplot (Figura 9) se puede visualizar el efecto de las variables de mayor importancia donde se observa que en el primer componente los genotipos 6 (90538 R), 5 (10351 R) y 4 (162 R) se sitúan en el lado derecho de la gráfica por su mayor REN y AP, separándolos del resto de los genotipos. En el segundo componente los genotipos 3 (154 R), 4 (162 R) y 1 (150 R) se sitúan en el lado inferior de la gráfica y se caracterizan por tener mayor LP y DT (Cuadro 10).



DF= días a floración, GB= grados Brix, AP= altura de planta, LP= longitud de panícula, LE= longitud de exersión, DT= diámetro de tallo, REN= rendimiento.

**Figura 9.** Gráfica biplot que muestran las variables-vector y la distribución de nueve genotipos R de sorgo, en base a los dos primeros componentes principales.



#### 4.5. Correlaciones fenotípicas para las líneas R

En el Cuadro 13 se presentan las correlaciones fenotípicas donde se puede observar que la variable DF se correlacionó negativa y significativamente con AP ( $r = -0.671^*$ ). Esta variable también se correlacionó con alta significancia y negativamente con REN ( $r = -0.869^{**}$ ), lo cual significa que las líneas más precoces tuvieron mayor REN y AP. Estas correlaciones se representan en la Figura 14, por un ángulo obtuso entre las variables DF con AP y REN. La variable GB se correlacionó positiva y significativamente con AP ( $r = 0.705^*$ ), por lo tanto, los genotipos con mayor AP presentaron altos contenidos de GB, lo cual se representa en la gráfica biplot por un ángulo agudo entre las dos variables (Balzarini *et al.*, 2006). Finalmente, se puede observar que la variable AP se correlacionó positiva y significativamente con REN ( $r = 0.715^*$ ).

**Cuadro 13.** Correlaciones fenotípicas para las líneas R consideradas en el análisis de componentes principales.

	DF	GB	AP	LP	LE	DT
GB	-0.342					
AP	<b>-0.671*</b>	<b>0.705*</b>				
LP	-0.027	0.250	0.308			
LE	0.036	0.151	0.482	0.303		
DT	0.341	-0.119	-0.469	0.500	-0.178	
REN	<b>-0.869**</b>	0.454	0.715*	-0.077	0.097	-0.552

\*Significativo y \*\*Altamente significativo al nivel de 0.05 y 0.01 de probabilidad; DF= días a floración, GB= grados Brix, AP= altura de planta, LP= longitud de panícula, LE= longitud de exersión, DT= diámetro de tallo, REN= rendimiento.

#### 4.6. Grupo de líneas androestériles

En el análisis de varianza del grupo de líneas androestériles (Cuadro 14) se detectaron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) para las variables: GB, AP, LP, LE; y no significativas para DF y DT. Las variables presentaron bajos coeficientes de variación (C.V.= 1.82-19.24%), excepto para LE (C.V.=35.38%).

**Cuadro 14.** Cuadrados medios del análisis de varianza de seis características agronómicas de líneas androestériles de sorgo. Campo Experimental UAAAN. Ciclo primavera-verano, 2021.

F.V.	G.L.	DF	Cuadrados medios					DT
			GB	AP	LP	LE		
Trat.	7	4.83	15.04**	383.62**	23.90**	139.61**	0.19	
Bloques	2	3.29	4.81	243.63	16.17	31.00	0.06	
Error	14	2.10	0.85	74.15	2.87	8.83	0.12	
Total	23							
C.V. (%)		1.82	9.14	7.65	5.50	35.37	19.24	
$\bar{x}$		79.58	10.08	112.44	26.06	8.40	1.80	

F.V.=Fuentes de variación, G.L.=Grados de libertad, Trat=Tratamientos, DF= días a floración, GB= grados Brix, AP= altura de planta, LP= longitud de panícula, LE= longitud de exersión, DT= diámetro de tallo, \*\*Significativo al1% de probabilidad. C.V.%= coeficiente de variación.

Con respecto a la prueba de comparación de medias realizadas (Cuadro 15), no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos para las variables DF y DT, sin embargo, destaca el genotipo 3 (1829 A) por ser el más precoz (DF=78 días) contrastando con el genotipo 6 (TX2925 A) más tardío (DF= 82 días). En la variable DT se observó un rango de 1.40 a 2.18 cm.

**Cuadro 15.** Prueba de comparación de medias de las variables analizadas en líneas androestériles de sorgo. Campo Experimental UAAAN. Ciclo primavera-verano, 2021.

No.	Líneas A	DF (días)	GB (°Brix)	AP (cm)	LP (cm)	LE (cm)	DT (cm)
3	1829 A	78.00 a	14.76 a	107.13 b	24.76 b	3.63 b	1.71 a
7	TX2926 A	78.66 a	8.43 c	116.36 a	26.20 a	14.46 a	1.71 a
8	TX2927 A	78.66 a	9.46 b	110.23 b	30.50 a	2.00 b	2.00 a
1	398 A	79.00 a	11.53 b	136.36 a	22.80 b	20.56 a	1.53 a
4	TX2923 A	79.33 a	8.90 b	96.96 b	26.93 a	1.80 b	2.18 a
2	378 A	80.66 a	7.53 c	112.63 a	21.90 b	12.60 a	1.40 a
5	TX2924 A	80.66 a	9.86 b	106.60 b	27.23 a	7.63 b	1.91 a
6	TX2925 A	81.66 a	10.16 b	113.23 a	28.13 a	4.46 b	1.93 a
Tukey 0.05		4.17	2.65	24.80	4.88	8.56	0.99

DF= días a floración, GB= grados Brix, AP= altura de planta,LP= longitud de panícula, LE= longitud de exersión, DT= diámetro de tallo. Medias en la columna con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey  $\leq$  0.05).

Los genotipos: 3 (1829 A), 1 (398 A) y 6 (TX2925 A) sobresalieron por su alto contenido de azúcar. La línea 1 (398 A) también presentó la mayor AP (136.36 cm).

Los genotipos 1 (398 A) y 2 (378 A) tuvieron la menor LP, sin embargo, presentaron un alto promedio para LE, siendo esta una buena característica, debido a que una mayor LE evita que las plagas y enfermedades de la hoja bandera sean transmitidas a la panícula.

#### 4.7. Análisis de componentes principales para el grupo de líneas androestériles

Con los tres primeros componentes principales, se explicó el 87.5% de la variación total de los datos y con los dos primeros componentes principales se tuvo una variación acumulada del 76.6% (Cuadro 16).

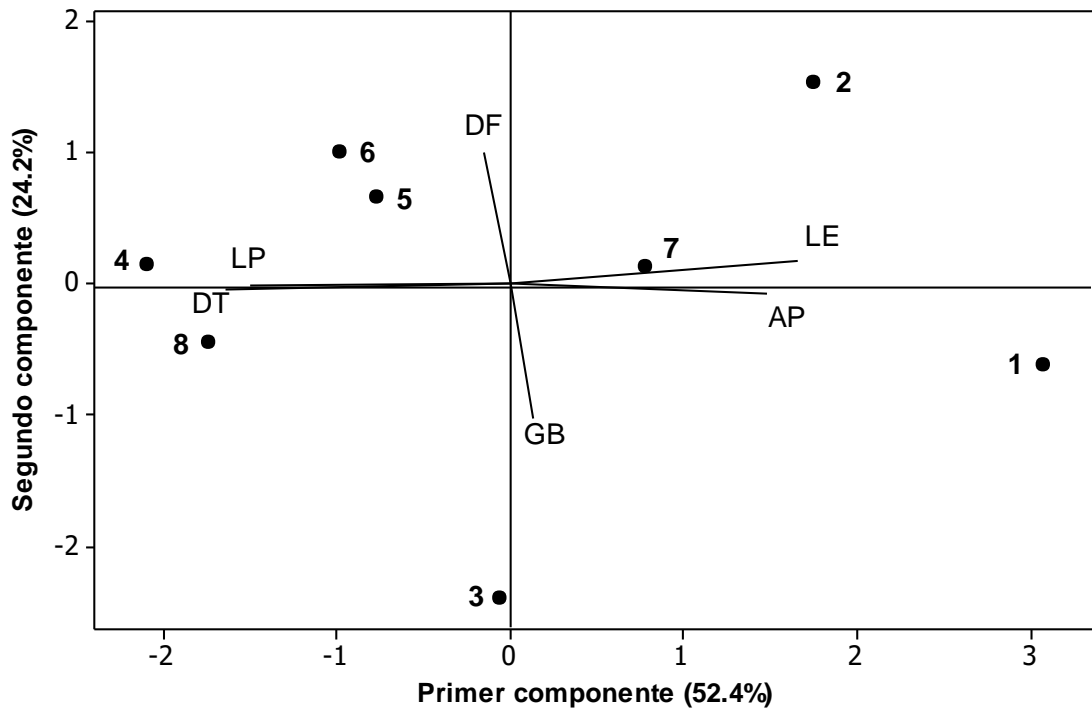
En el primer componente principal las variables de mayor importancia fueron: LE, y DT. En el segundo componente sobresalen las variables DF y GB.

**Cuadro 16.** Valores y vectores propios para los tres primeros componentes principales de las variables evaluadas en campo del grupo de líneas androestériles de sorgo (*Sorghum bicolor*).

	CP1	CP2	CP3
Valor propio	3.1446	1.4511	0.6564
Proporción (%)	52.4	24.2	10.9
Acumulada (%)	52.4	76.6	87.5
Variables	Vectores propios		
DF	-0.046	<b>0.688</b>	0.385
GB	0.042	<b>-0.713</b>	0.366
AP	0.470	-0.048	<b>-0.492</b>
LP	-0.476	-0.007	<b>-0.550</b>
LE	<b>0.526</b>	0.124	-0.319
DT	<b>-0.522</b>	-0.029	-0.267

DF= días a floración, GB= grados Brix, AP= altura de planta, LP= longitud de panícula, LE= longitud de exersión, DT= diámetro de tallo, REN= rendimiento. Variables de mayor peso representadas en negritas.

En la Figura 10 los genotipos 1 (398 A), 2 (378 A) y 7 (TX2926 A) se sitúan en el lado derecho del primer componente principal y se caracterizan por presentar mayor LE y AP. Los genotipos 4 (TX2923 A) y 8 (TX2927 A) se ubican en el lado izquierdo del primer componente y se caracterizan por tener mayor DT y LP.



DF= días a floración, GB= grados Brix, AP= altura de planta, LP= longitud de panícula, LE= longitud de exersión, DT= diámetro de tallo.

**Figura 10.** Gráfica biplot que muestran las variables-vector y la distribución de ocho líneas androestériles de sorgo, en base a los dos primeros componentes principales.

En el segundo componente principal, las líneas 3 (1829 A) y 1 (398 A) se sitúan en la parte inferior de la gráfica y se caracterizan por tener mayor GB, mientras que los genotipos 2 (378 A), 5 (TX2924 A) y 6 (TX2925 A) se encuentran en el lado superior de la gráfica los cuales presentaron los más altos promedios de DF.

#### 4.8. Correlaciones fenotípicas para los grupos de líneas androestériles

En el Cuadro 17 se presentan las correlaciones entre las variables, donde se observa una correlación positiva y altamente significativa entre las variables AP y LE ( $r= 0.849^{**}$ ), lo cual significa que la LE se incrementó en los genotipos de mayor AP, esta correlación se representa en la Gráfica biplot por un ángulo agudo (Figura 15).

La variable DT se correlacionó positiva y altamente significativa con LP ( $r= 0.845^{**}$ ), pero negativa y significativamente con LE ( $r= -0.774^*$ ) por lo tanto, en la mayoría de los genotipos al aumentar el DT también aumentó LP, pero disminuyó la LE.

**Cuadro 17.** Correlaciones fenotípicas para las líneas androestériles consideradas en el análisis de componentes principales.

	DF	GB	AP	LP	LE
GB	-0.438				
AP	-0.077	0.135			
LP	0.025	-0.096	-0.447		
LE	-0.034	-0.129	<b>0.849<sup>**</sup></b>	-0.693	
DT	0.026	-0.055	-0.651	<b>0.845<sup>**</sup></b>	<b>-0.774<sup>*</sup></b>

\*Significativo y \*\*Altamente significativo al nivel de 0.05 y 0.01 de probabilidad; <sup>1</sup>DF= días a floración, GB= grados Brix, AP= altura de planta, LP= longitud de panícula, LE= longitud de exersión, DT= diámetro de tallo.

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

En el Cuadro 18, se presentan las 72 posibles combinaciones que se pueden realizar entre el grupo de líneas A y las líneas R, para la sincronización floral de líneas progenitoras para la formación de híbridos de cruza simple en sorgo.

De acuerdo a los datos tomados en campo, podemos apreciar que existen cinco combinaciones con los mismos días a floración, esto significa que los pares de genotipos se pueden sembrar el mismo día. Las líneas restantes tienen una variación de uno a diez días de diferencia para la sincronización floral entre progenitores.

**Cuadro 18.** Combinaciones de días a floración en la siembra de grupos de líneas androestériles A y líneas restauradoras R, para la producción de semilla híbrida experimental de sorgo. Campo Experimental UAAAN. Ciclo primavera-verano, 2021.

Líneas R (♂)	1829 A (♀) (78)	TX2926 A(♀) (79)	TX2927 A(♀) (79)	398 A(♀) (79)
150 R (73 días)	R, 5 días > A	R, 6 días > A	R, 6 días > A	R, 6 días > A
151 R (77 días)	R, 1 día > A	R, 2 días > A	R, 2 días > A	R, 2 días > A
154 R (79 días)	R, 1 día < A	Mismo día	Mismo día	Mismo día
162 R (72 días)	R, 6 días > A	R, 7 días > A	R, 7 días > A	R, 7 días > A
10351 R (72 días)	R, 6 días > A	R, 7 días > A	R, 7 días > A	R, 7 días > A
90538 R (72 días)	R, 6 días > A	R, 7 días > A	R, 7 días > A	R, 7 días > A
TX278 R (75 días)	R, 3 días > A	R, 4 días > A	R, 4 días > A	R, 4 días > A
TX430 R (76 días)	R, 2 días > A	R, 3 días > A	R, 3 días > A	R, 3 días > A
TX435 R (78 días)	Mismo día	R, 1 día > A	R, 1 día > A	R, 1 día > A

Líneas R (♂)	TX2923 A (♀) (79)	378 A(♀) (81)	TX2924 A(♀) (81)	TX2925 A(♀) (82)
150 R (73 días)	R, 6 días > A	R, 8 días > A	R, 8 días > A	R, 9 días > A
151 R (77 días)	R, 2 días > A	R, 4 días > A	R, 4 días > A	R, 5 días > A
154 R (79 días)	Mismo día	R, 2 días > A	R, 2 días > A	R, 3 días > A
162 R (72 días)	R, 7 días > A	R, 9 días > A	R, 9 días > A	R, 10 días > A
10351 R (72 días)	R, 7 días > A	R, 9 días > A	R, 9 días > A	R, 10 días > A
90538 R (72 días)	R, 7 días > A	R, 9 días > A	R, 9 días > A	R, 10 días > A
TX278 R (75 días)	R, 4 días > A	R, 6 días > A	R, 6 días > A	R, 7 días > A
TX430 R (76 días)	R, 3 días > A	R, 5 días > A	R, 5 días > A	R, 6 días > A
TX435 R (78 días)	R, 1 día > A	R, 3 días > A	R, 3 días > A	R, 4 días > A

Línea R (♂) = Progenitor masculino restaurador de la androfertilidad; Línea A (♀) = Progenitor femenino líneas androestériles.

< Indica los días **antes** de siembra de la línea correspondiente para una adecuada sincronización floral entre los progenitores.

> Indica los días **después** de siembra de la línea correspondiente para una adecuada sincronización floral entre los progenitores.

## **V. CONCLUSIONES**

### **5.1. Líneas isogénicas A, B.**

Los pares de líneas isogénicas W y 1831 registraron el mismo número de días a floración, obteniendo una buena sincronización floral.

El par de líneas isogénicas 1831 fueron las más precoces (72 días) y las líneas 2921 las más tardías (76 días).

El contenido de azúcares en las líneas W B y 1823 A, fue superior a los 10 °Brix.

Las líneas WA y 1831 B, presentaron una adecuada longitud de exersión (13.36 cm y 11.46 cm, respectivamente).

Los más altos rendimientos se registraron en las líneas 1823 B (68.392 g/pl) y 1831 B (68.673 g/pl).

### **5.2. Líneas restauradoras de la androfertilidad R**

Las líneas 90538 R y 10351 R sobresalieron por tener una mayor precocidad, contenido de azúcares, altura de planta y un alto rendimiento de grano.

En general los genotipos R, registraron un promedio de 23.73 cm para longitud de panícula. También promediaron una buena longitud de exersión superiores a los 10 cm.

Se presentaron cinco pares de combinaciones del grupo de líneas A x R con los mismos días a floración.

El análisis de componentes principales determinó que las variables de mayor importancia fueron: DF, AP, REN, GB en los dos primeros componentes.

Se identificaron en el análisis de componentes principales una correlación negativa y significativa entre DF con AP ( $r = -0.671^*$ ); una correlación negativa y altamente significativa entre DF con REN ( $r = -0.869^{**}$ ) y finalmente, se obtuvo una correlación positiva y significativa entre GB y AP ( $r = 0.705^*$ ).

### **5.3. Grupo de líneas androestériles**

La línea androestéril 1829 A fue la más precoz (DF= 78 días) y destaca por su alto contenido de azúcares (GB= 14.76). La línea 398 A, presentó altos promedios para las variables GB (11.53), AP (136.36 cm) y LE (20.56 cm).

Se presentaron cinco pares de combinaciones del grupo de líneas androestériles A x R con los mismos días a floración.

En el análisis de componentes principales se observó que las variables de mayor importancia fueron: LE, DT, GB y DF en los dos primeros componentes.

El análisis de componentes principales mostró una correlación positiva y altamente significativa entre AP y LE ( $r = 0.849^{**}$ ); la variable DT se correlacionó positiva y altamente significativa con LP ( $r = 0.845^{**}$ ), negativa y significativamente con LE ( $r = -0.774^*$ ).



## VI. LITERATURA CITADA

- Acosta, S. 1997. Sorghum ergot in México. In: U. S. Conference on Sorghum Ergot. Amarillo, Texas. June 11. Pp: 7-8
- Balzarini, M., Arroyo A., Bruno C. y Di Rienzo J. 2006. Análisis de datos de marcadores con Info-Gen. XXXV Congreso Argentino de Genética, San Luis. Argentina.
- Bandyopadhyay, R., D. E. Frederickson, N. W. McLaren, and G. Odvody. 1996. Ergot: a global disease threat to sorghum. International Sorghum and Millet Newsletter. Vol. 37 32 p.
- Casmuz A, Juárez ML, Socías MG, Murúa MG, Prieto S, Medina S, Willink E, Gastaminza G. (2010). Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Revista de la Sociedad Entomológica Argentina, 69(3-4): 209-231.
- Campos Experimentales UAAAN. 2011. Campos experimentales. Dirección de Investigación. Subdirección de Operación de Proyectos, 3-4. UAAAN. Consultado en mayo de 2021. Disponible en: <http://www.uaaan.mx>
- 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.
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal). 2018. Programa de granos básicos. Libertad República de El Salvador, 21 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>

- Cisneros-López, ME; Mendoza-Onofre, LE; González-Hernández, VA. 2012. Efectos de los padres masculinos sobre la receptividad del estigma y la formación de semillas de líneas A de sorgo bajo temperaturas de campo frías. *Fitomejoramiento* 131(1):88-93.
- Cisneros-López, M. E.; Valencia, A. J.; Estrada, G. Y. 2017. Sorghum (*Sorghumbicolor*) pollen availability and seed set under different proportion malefemale plants in Mexican highlands. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Argentina.* 49(2) p. 51-66.
- Clará V. R., y D'Croz-M. N. E. 2008. La Androesterilidad en el Mejoramiento Genético del Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). INTSORMIL Scientific Publications. 23. <https://digitalcommons.unl.edu/intsormilpubs/23>
- Compton, LP. 1990. *Agronomía del Sorgo*. San Andrés. CENTA. El Salvador. 97-104 p.
- Cortez, M. E. 2018. Manejo del pulgón amarillo en sorgo. PANORAMA Agro.com. Consultado en septiembre de 2022. Disponible en <http://panorama-agro.com>
- De Bernardi, L.A. 2019. Perfil del sorgo. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca. Presidencia de la Nación, Argentina. <https://www.magyp.gob.ar/perfil-de-sorgo-2019>.
- Díaz, C.G., Aguirre, N. y Morales, J.C. 2009. Enfermedades foliares en diferentes materiales de sorgo. Consultado en septiembre de 2022. Disponible en: [www.maizar.org.ar](http://www.maizar.org.ar)
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2017. FAOSTAT. ProdStat database, yearly production (en línea). Consultado en abril de 2018. Disponible en <http://www.faostat.fao.org>
- FAO. 1980. *Introducción al control integrado de las plagas y enfermedades del sorgo*, Roma. 132 p.

- FIRA. 2016. Panorama agroalimentario. Sorgo 2016. Dirección de investigación y evaluación económica y sectorial. 35p.
- FIRA. 2020. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. Perspectivas 2020. p. 25. Consultado en abril de 2021. Disponible en <https://fira.gob.mx>
- FIRA. 2022. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. Perspectivas 2022. p. 28. Consultado en septiembre de 2022. Disponible en <https://fira.gob.mx>
- Flores, N.A.; Valdés, LCGS. 2009. Formación de líneas de sorgo tolerantes a la sequía para la sostenibilidad de los agroecosistemas nororientales. Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible. Agricultura Sostenible. vol. 6. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México. 423 pág.
- Flores, N.A., Valdés, L.C., Zavala, G.F., Olivares, S.E., Gutiérrez, D.A., Vázquez, B.M.E. 2013. Comportamiento agronómico de líneas para la producción de semilla de sorgo. Agronomía Mesoamericana. 24, 1.
- Google Earth, 2021. Consultado en abril del 2021. Disponible en: <https://earth.google.com>
- Heike, V. 2009. Malezas de México. Poace *Sorghum bicolor* (L.) Moench. CONABIO. Consultado en septiembre de 2022. Disponible en <http://www.conabio.gob.mx>
- INIFAP, 2022. Control químico del ergot *Claviceps africana* del sorgo. Ficha tecnológica por producto. Pp. 63. Consultado en septiembre de 2022. Disponible en <http://www.inifapcirne.gob.mx/>
- INTA, 2011. Proyecto Regional Desarrollo de una Agricultura Sustentable en los Territorios del CERBAS. Manual de sorgo. P. 7. Consultado en septiembre de 2022. Disponible en <https://inta.gob.ar>

- Johnson, E.D. 2000. Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos. Internacional Thompson Editores S.A de C. V. New York, U.S.A. Pp. 3–4.
- Mena, H. 1986. El cultivo del sorgo granífero. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Maracay, Venezuela. 145 p. (Serie de Paquetes Tecnológico N° 4-02).
- 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, 1–25.
- Poehlman, JM. 2005. Mejoramiento genético de las cosechas. 2 ed. Editorial Limusa. D.F., México. 511 p.
- Premalatha, N., N. Kumaravadivel, and P. Veerabahiran. 2006. Heterosis and combining ability for grain yield and its components in sorghum [*sorghum bicolor* (L.) Moench]. Indian J. Gen. 66: 123-126.
- 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.
- Río, M. V. 2016. Manual de Plagas y Enfermedades en Sorgo. SILO.TIPS. Consultado en septiembre de 2022. Disponible en: <http://silo.tips/download/manual-de-plagas-y-enfermedades-en-sorgo#>
- Rodríguez-del-Bosque, L. A. and A. P. Terán. 2015. *Melanaphis sacchari* (Hemiptera: Aphididae): a new sorghum insect pest in México. Southwest. Entomol. 40: 433-434

- Rooney, L.W., Kirleis, A.W. and Murty, D.S. 1986. Traditional foods from sorghum: their production, evaluation and nutritional value. *Adv. Cereal Sci. Technol.* 8: 317-353.
- Rooney, L.W. and Clará, V.R. 2009. Control genético del color del grano de Sorgo. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). El Salvador. p. 3. Consultado en mayo de 2021. Disponible en: <http://www.centa.gob>
- SIAP, 2017. Avance de siembras y cosechas resumen nacional por cultivo. Consultado en agosto de 2021. Disponible en: <http://infosiap.siap.gob.mx>
- SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas). 2018. Regla para la calificación de semilla de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.). México. P. 7-9. Consultado en septiembre de 2022. Disponible en: <https://www.gob.mx/snics>
- SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas). 2007. Ley Federal de Producción, Certificación y Comercio de Semillas. Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación. 15 de junio de 2007. México, DF 17 p.
- Torres, M. J., and G. N. Montes. 1999. Sorghum ergot in México. In: Global Conference on Ergot of Sorghum. Brazil, Sete Lagoas. June 1-8, 1997. Pp: 101-108.
- Valdés, L. C. G. S. 1997. Apuntes del curso: Metodologías tradicionales de mejoramiento genético de las plantas. Material no publicado. Facultad de Agronomía de la UANL. Marín, N. L., México.
- Valdés, LCGS; Pedroza, FJA; José, ECM; Zavala, GF; Juan, V.G. 2004. Variedades e híbridos de sorgo de doble propósito vs. híbridos de grano utilizados en sistemas de sorgo-ganado en Nuevo León. En Memorias del XXI Congreso Nacional de Fitogenética. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México. 231 págs.
- Vanderlip, R. y Reeves H. 1972. Sorghum growth and development. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. Consultado en septiembre de 2021. Disponible en: <https://spark.adobe.com/page/B5g3d/>.

## VII. ANEXOS

### Croquis del Campo Experimental



### Fotografías de los trabajos realizados durante el experimento





