

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Evaluación del Comportamiento Agronómico de Genotipos de Sorgo  
para Grano en el Sureste de Coahuila.

Por:

**JESÚS GUADALUPE IZAGUIRRE CASTILLO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2019.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Evaluación del Comportamiento Agronómico de Genotipos de Sorgo  
para Grano en el Sureste de Coahuila.


Por:


**JESÚS GUADALUPE IZAGUIRRE CASTILLO**


TESIS

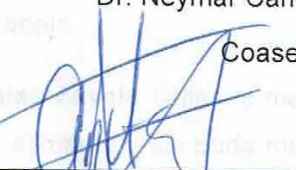
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:


**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

  
Dr. Antonio Flores Naveda  
Asesor Principal

  
M.P. Víctor Villanueva Coronado  
Coasesor

  
Dr. Neymar Camposeco Montejo  
Coasesor

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



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México  
Diciembre, 2019.

## AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, institución que me abrió las puertas y me permitió cumplir unos de mis grandes sueños y que a su paso me dio la oportunidad de conocer personas maravillosas, a todos los profesores que contribuyeron compartiendo su conocimiento dentro y fuera de las aulas.

Con especial respeto y admiración al **Dr. Antonio Flores Naveda** por creer en mí y poder formar equipo, por todos los conocimientos transmitidos para fortalecer mi aprendizaje y por su gran apoyo en la dirección del proyecto muchas gracias.

**M.P Víctor Villanueva Coronado** por el apoyo incondicional otorgado durante mi trabajo de investigación y por todas las sugerencias realizadas en el proyecto.

Con amor y cariño a la **Ing. Luz Leticia Rivera Solís** por la ayuda que me brindaste ha sido sumamente importante, estuviste a mi lado inclusive en los momentos y situaciones que se tornaban más difíciles, siempre apoyándome. No fue sencillo culminar con éxito este proyecto, sin embargo, siempre fuiste muy motivadora, me hiciste comprobar lo capaz que puedo llegar a ser.

A mis compañeros y amigos **Marlene Orozco, Daniela Avilés, Adán Vázquez, Hugo franco, Levi Herrera, Rafael Pérez, Joaquín Merlín** así como a los compañeros de la carrera por sus conocimientos y por todos aquellos momentos que compartimos juntos durante nuestro paso por la universidad. **A Felicito Díaz, Francisco Nájera, Armando Hernández, Genaro Pérez** y demás compañeros que participaron y apoyaron mi trabajo.

A **Doña Marta Hernández e Isaías Zavala** Quienes me acogieron en su seno familiar brindándome hospedaje, alimento y sin duda motivación día a día para seguir adelante durante mi estancia como estudiante.

## DEDICATORIA

### **A Dios**

Por haberme dado vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional que es uno de mis anhelos más deseados.

### **A mis padres**

**Jesus Izaguirre Muñoz y María Guadalupe Castillo García** quienes con su amor, paciencia y sacrificio me han permitido llegar a cumplir un sueño más, gracias por los consejos valores y principios inculcados en mi persona. Ha sido un orgullo y privilegio ser su uno de sus hijos, son los mejores padres.

### **A mis hermanos**

**Gustavo y Jassiel Izaguirre Castillo** que estuvieron siempre presentes y fueron motivación para seguir adelante durante toda esta travesía, son unos excelentes jóvenes recuerden que estoy para ustedes los quiero.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>I.</b>	<b>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.</b>	<b>REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
2.1.	Origen del cultivo de sorgo .....	4
2.2.	Taxonomía del sorgo .....	5
2.3.	Descripción del cultivo de sorgo .....	6
2.4.	Crecimiento y desarrollo del sorgo.....	7
2.5.	Producción de sorgo a nivel mundial .....	8
2.6.	Producción de sorgo en México.....	9
2.7.	Importancia del cultivo de sorgo .....	10
2.8.	Mejoramiento genético de sorgo.....	11
2.9.	Inflorescencia de la planta .....	12
2.10.	Antesis.....	12
2.11.	Polinización y fertilización de la flor .....	13
2.12.	Generación de líneas experimentales de sorgo .....	14
2.13.	Diseño de nuevas variedades de sorgo.....	15
2.14.	Mantenimiento de líneas de sorgo.....	17
2.15.	Eliminación de plantas fuera de tipo .....	17
2.16.	Producción e incremento de semilla de sorgo .....	17
2.17.	Estructura de la semilla de sorgo.....	19
2.18.	Regla para la calificación de semilla de sorgo.....	20
<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>21</b>
3.1.	Localización del sitio experimental .....	21
3.2.	Germoplasma utilizado .....	21
3.3.	Tratamientos .....	21
3.4.	Manejo agronómico.....	22
3.5.	Siembra y densidad .....	22
3.6.	Fertilización .....	22
3.7.	Control de malezas .....	223
3.8.	Control de plagas y enfermedades .....	23

3.9.	Cosecha .....	24
3.10.	Trillado de grano .....	24
3.11.	Diseño experimental .....	24
3.12.	Variables evaluadas .....	25
3.12.1.	Días a floración (DF) .....	25
3.12.2.	Altura de planta (AP) .....	25
3.12.3.	Longitud de panícula (LP) .....	26
3.12.4.	Longitud de excursión (LE) .....	26
3.12.5.	Ancho de hoja (AH) .....	26
3.12.6.	Longitud de hoja (LH) .....	26
3.12.7.	Diámetro de tallo (DT) .....	26
3.12.8.	Incidencia de daño por aves (IDA) .....	26
3.12.9.	Enfermedades foliares (EF) .....	27
3.12.10.	Grados Brix (GB) .....	27
3.12.11.	Rendimiento de grano en gramos por planta (RGP) .....	27
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>28</b>
4.1.	Días a floración .....	28
4.2.	Altura de planta .....	33
4.3.	Longitud de panícula .....	34
4.4.	Longitud de excursión .....	36
4.5.	Ancho de hoja y longitud de hoja .....	37
4.6.	Diámetro de tallo .....	40
4.7.	Incidencia de daño por aves .....	41
4.8.	Enfermedades foliares .....	43
4.9.	Grados Brix .....	44
4.10.	Rendimiento de grano en gramos por planta .....	45
4.11.	Color de grano .....	47
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>48</b>
<b>VI.</b>	<b>LITERATURA CITADA .....</b>	<b>49</b>

**VII. ANEXOS..... 54**

7.1. Anexo 1. Croquis de campo del experimento de Evaluación del comportamiento agronómico de genotipos de sorgo para grano en el Sureste de Coahuila en el ciclo agrícola Primavera-Verano 2018, en Saltillo, Coahuila. .... 54

7.2. Anexo 2. Establecimiento de las parcelas experimentales de sorgo en el ciclo agrícola Primavera-Verano 2018, en Saltillo, Coahuila. .... 54

7.3. Anexo 3. Aplicación del primer riego de auxilio a parcelas experimentales de sorgo en el ciclo agrícola Primavera-Verano 2018, en Saltillo, Coahuila. .... 55

7.4. Anexo 4. Inicio de etapa reproductiva 50 – 60 días de establecido el cultivo de sorgo en el ciclo agrícola Primavera-Verano 2018, en Saltillo, Coahuila. .... 56

7.5. Anexo 5. Cosecha de las parcelas experimentales de sorgo a los 154 días de establecido el cultivo en el ciclo agrícola Primavera-Verano 2018, en Saltillo, Coahuila. .... 56

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Clasificación taxonómica del cultivo de sorgo. ....	5
<b>Cuadro 2.</b> Principales países productores de sorgo.....	9
<b>Cuadro 3.</b> Genotipos de sorgo. ....	21
<b>Cuadro 4.</b> Análisis de varianza de variables agronómicas en líneas experimentales de sorgo evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2018 en Saltillo, Coahuila. ....	30
<b>Cuadro 5.</b> Comparación de medias de variables agronómicas en líneas experimentales de sorgo evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2018 en Saltillo, Coahuila. ....	31



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Estructura de la planta de sorgo .....	6
<b>Figura 2.</b> Etapas fenológicas del sorgo. ....	8
<b>Figura 3.</b> Composición química promedio del grano de sorgo. ....	10
<b>Figura 4.</b> Estructura de la semilla de sorgo.....	19
<b>Figura 5.</b> Comparación de medias, para la variable días a floración (días) de líneas experimentales de sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2018 en Saltillo, Coahuila. ....	29
<b>Figura 6.</b> Comparación de medias, para la variable altura de planta en (cm) de líneas experimentales de sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2018 en Saltillo, Coahuila. ....	34
<b>Figura 7.</b> Comparación de medias, para la variable longitud de panícula en (cm) de líneas experimentales de sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2018 en Saltillo, Coahuila.....	35
<b>Figura 8.</b> Comparación de medias, para la variable longitud excursión en (cm) de líneas experimentales de sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2018 en Saltillo, Coahuila.....	37
<b>Figura 9.</b> Comparación de medias, para la variable ancho de hoja en (cm) de líneas experimentales de sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2018 en Saltillo, Coahuila. ....	38
<b>Figura 10.</b> Comparación de medias, para la variable longitud de hoja en (cm) de líneas experimentales de sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2018 en Saltillo, Coahuila. ....	39
<b>Figura 11.</b> Comparación de medias, para la variable diámetro de tallo en (mm) de líneas experimentales de sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2018 en Saltillo, Coahuila.....	41
<b>Figura 12.</b> Comparación de medias, para la variable incidencia de daño por aves en (%) de líneas experimentales de sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2018 en Saltillo, Coahuila. ....	43

**Figura 13.** Comparación de medias, para la variable enfermedades foliares en (1-5) de líneas experimentales de sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2018 en Saltillo, Coahuila. .... 44

**Figura 14.** Comparación de medias para la variable grados Brix de líneas experimentales de sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2018 en Saltillo, Coahuila. .... 45

**Figura 15.** Comparación de medias, para la variable rendimiento de grano en gramos por planta de líneas experimentales de sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2018 en Saltillo, Coahuila..... 47

## RESUMEN

Actualmente, el mercado de semillas de sorgo (*Sorghum bicolor*) se encuentra gobernado por empresas transnacionales en donde aproximadamente el 99% de la semilla de sorgo que se siembra en campos mexicanos es semilla híbrida importada principalmente de Estados Unidos de América, lo cual genera que los costos se incrementen de manera significativa, por esta razón la agricultura ha direccionado sus esfuerzos en la búsqueda de alternativas más viables para la producción de este grano con gran importancia para el país.

Por lo antes mencionado, se planteó el presente trabajo de investigación con la finalidad de evaluar el comportamiento agronómico de Líneas Experimentales de Sorgo (LES) para grano en la región del sureste del estado de Coahuila. La siembra experimental se realizó en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2018 en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila.

Se evaluaron las siguientes variables agronómicas: días a floración (DF), altura de plantas (AP), longitud de panícula (LP), longitud de excursión (LE), ancho de hoja (AH), longitud de hoja (LH), diámetro de tallo (DT), incidencia de daño por aves (IDA), enfermedades foliares (EF), grados Brix (GB), rendimiento gramos por planta (RGP) y color de grano (CG).

En el presente trabajo de investigación, se evaluaron nueve Líneas Experimentales de Sorgo y un testigo comercial, bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones para un total de 30 unidades experimentales. Para el análisis estadístico de las variables se utilizó el paquete estadístico SAS versión 9.0, donde se realizó un Análisis de Varianza y una prueba de comparación de medias con la prueba de Tukey a una probabilidad de  $p < 0.05$ .

Durante las diversas etapas fenológicas del cultivo, se realizó un manejo agronómico, mediante aplicaciones de macronutrientes y micronutrientes vía foliar y radicular, escardas, control de malezas, control de plagas y enfermedades, liberación de insectos benéficos para control de pulgón amarillo del sorgo y suministro de riegos para un desarrollo adecuado del cultivo.

El registro de los datos de campo se realizó en la etapa de madurez fisiológica final del grano y en etapa de postcosecha a nivel de laboratorio.

Los resultados muestran que la línea experimental de sorgo que resultó superior con base en su comportamiento agronómico, fue la LES 231, seguido por la LES 197. Ambas líneas, mostraron un excelente comportamiento agronómico en el ambiente de evaluación y un aceptable potencial de rendimiento de grano. Se espera que estas líneas sean punto de partida para futuros trabajos de investigación y para la generación de nuevas variedades mejoradas.

**Palabras clave:** Genotipos, Rendimiento, Grano, *Sorghum bicolor*.

## I. INTRODUCCIÓN

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. Se estima que la problemática en la producción de granos para el año 2050, será de 450 millones de toneladas anuales, equivalente a 220 kg/ha per cápita, por lo que estamos obligados al desarrollo de nuevas prácticas agronómicas sustentables y la generación de nuevos genotipos para incrementar la producción (Pérez *et al.*, 2010).

El cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cuenta con buena adaptabilidad y rendimientos aceptables, es el quinto cereal más importante del mundo después del trigo, maíz, arroz y cebada (FAO, 2017). Por su alto grado de resistencia a enfermedades y su poca demanda de agua, en algunas regiones del mundo, el cultivo del sorgo está sustituyendo el cultivo de maíz y otros cereales de grano pequeño (Hidalgo, 1997). Los principales lugares de producción de sorgo se encuentran en las regiones áridas y semiáridas de los trópicos y subtropicos (Pérez *et al.*, 2010).

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 representa un 90% del crecimiento de la producción mundial, sólo Etiopía representa casi el 40% de la producción adicional hacia 2025, seguido por Nigeria (14%) y Sudán (10%) (FIRA, 2016). México importa casi el 100% de la semilla que utiliza para la siembra, esto genera reducción de la rentabilidad y disminución de la competitividad de los productores (CONACYT, 2013). Una alternativa potencial para el desarrollo del cultivo es utilizar semilla de

variedades tipo línea pura, ya que es más económica y fácil de producir, además de poder superar en rendimiento de grano a los híbridos comerciales.

La semilla es la portadora del potencial genético y es responsable de generar altos rendimientos. La producción de semilla híbrida de sorgo se basa en un sistema de tres líneas denominadas A, B y R; donde: A; androestéril y B; 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). Una producción de semilla aceptable está ligada a una buena calidad fisiológica, la cual determina la capacidad de germinación y el establecimiento de las plántulas durante sus primeras etapas vegetativas.

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, por la característica de ser alimento sin gluten sustituyendo al trigo en la panificación y al maíz amarillo en la elaboración de alimentos balanceados; para tal efecto es necesario conocer el control genético del color del grano para mejorar su calidad nutricional (USDA, 2011). El estudio de la composición química del grano de sorgo, ha permitido conocer su riqueza en calidad nutricional, ya que contiene compuestos de interés los cuales son básicos para la alimentación humana y animal en proporciones comparables con otros cereales (Cureton y Fasano, 2009).

En el presente trabajo de investigación se realizó la evaluación del comportamiento agronómico y estabilidad de genotipos de sorgo con potencial para la producción de grano.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. Objetivo general**

Realizar selección de las líneas de sorgo con mayor potencial para la producción de grano, bajo las condiciones del sureste de Coahuila.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

Evaluar el comportamiento agronómico de nueve líneas experimentales de sorgo y un híbrido comercial en la región sureste de Coahuila.

Caracterizar variables agronómicas en líneas experimentales de sorgo para determinar su potencial productivo.

## **1.2. HIPÓTESIS**

Las líneas evaluadas en la presente investigación, presentarán un buen comportamiento agronómico y potencial productivo con una adecuada adaptación a la región sureste de Coahuila en comparación con el híbrido comercial.

Las líneas evaluadas en la presente investigación, no tendrán un buen comportamiento agronómico y un potencial productivo, para la región de evaluación en comparación con el híbrido comercial.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Origen del cultivo de sorgo

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

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

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, su gran variedad de mecanismos para tolerar el calor y la sequía, lo catalogan como un cultivo noble al alcance de los productores (Alcala, 2003). El grano de sorgo es una rica fuente de proteína, fibra, hierro, zinc y es rico en vitaminas del complejo B. Además, contiene altos niveles de antioxidantes, en los cuales se ha demostrado que el consumir el grano entero de sorgo ayuda a reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo II, cáncer gastrointestinal (Flores *et al.*, 2015).



## 2.2. Taxonomía del sorgo

**Cuadro 1.** Clasificación taxonómica del cultivo de sorgo.

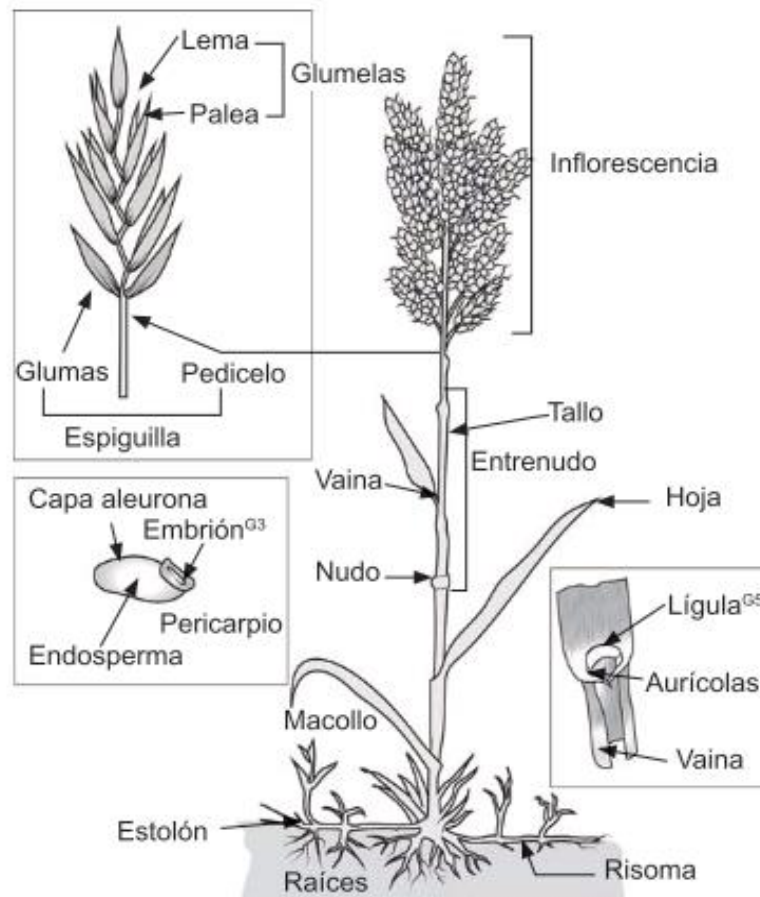
<b>Familia</b>	Poaceae
<b>Tribu</b>	<i>Andropogoneae</i>
<b>Subtribu</b>	<i>Sorghinae</i>
<b>Género</b>	<i>Sorghum Moench</i>
<b>Subgénero</b>	<i>Sorghum</i> <i>Chaetosorghum</i> <i>Heterosorghum</i> <i>Parasorghum</i> <i>Stiposorghum</i>
<b>Especie del subgénero</b>	<i>Sorghum</i> <i>Sorghumpropinquim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

Fuente: (Kimber, 2000).

### 2.3. Descripción del cultivo de sorgo

El sorgo es una gramínea anual, con una raíz fibrosa que se desarrolla desde los nudos inferiores del tallo (Figura 1). Generalmente, consta de un solo tallo, aunque puede presentar amacollamiento dependiendo de la variedad que se esté utilizando y del ambiente en el que se encuentre. Los tallos de las plantas pueden variar su longitud entre 0.045 m y 4 m dependiendo del número de hojas que produzca la planta. La cantidad de nudos en el tallo es igual al número de hojas que posee la planta y su número puede variar entre 7 a 24 hojas. A lo largo del tallo se forma una yema en cada nudo excepto en el nudo terminal. Las yemas están ubicadas en forma alterna y solamente las inferiores pueden producir hijos (Doggett, 1988).

**Figura 1.** Estructura de la planta de sorgo



Fuente: INATEC, 2017.

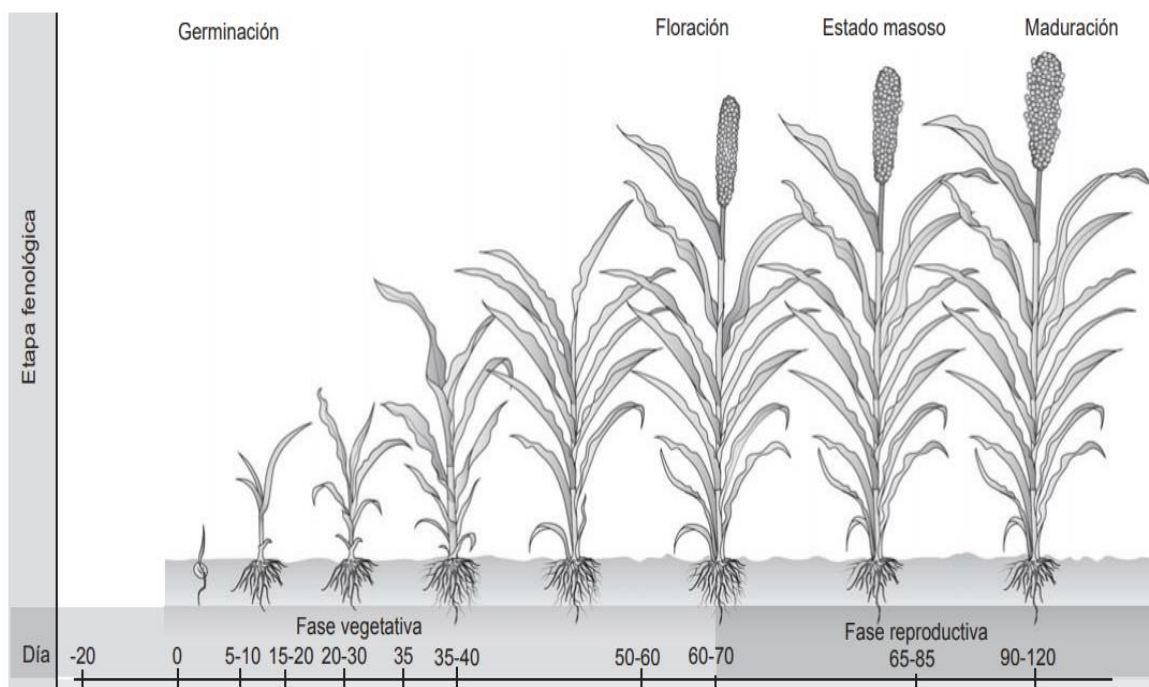
Las hojas del sorgo pueden clasificarse como lanceoladas o lineo-lanceoladas, variando su número entre 7 a 24. La superficie de las hojas es lisa y cerosa; poseen líneas de células motoras en la epidermis superior, cuya función es facilitar el enrollamiento hacia adentro de las hojas durante períodos de sequía (Compton, 1990). Las hojas están unidas al tallo por medio de la vaina, la cual se encuentra circundando el tallo, la última hoja producida es llamada hoja bandera y su vaina protege la inflorescencia que está emergiendo. La inflorescencia de la planta de sorgo es una panícula de racimos con un ráquiz central. La panícula inmadura es forzada hacia arriba dentro de la vaina más alta, después de la expansión de la hoja bandera. La panícula puede ser corta o larga, suelta y abierta, compacta o semi-compacta.

#### **2.4. Crecimiento y desarrollo del sorgo**

El crecimiento del sorgo se divide en ocho etapas fenológicas desde su emergencia hasta su madurez fisiológica, de las cuales las primeras cuatro abarcan el periodo de crecimiento vegetativo y a partir de la quinta etapa la planta inicia el proceso reproductivo (Figura 2). La emergencia (etapa 0) ocurre cuando la plántula emerge a la superficie del suelo, para que este proceso suceda es necesario que diversas condiciones (profundidad de siembra, vigor de la semilla temperatura y humedad del suelo, entre otras) sean favorables. Durante los próximos 10 a 20 días la semilla atraviesa la etapa 1: tres hojas verdaderas, donde el punto de crecimiento se encuentra debajo de la superficie del suelo. La primera fertilización nitrogenada se da en la etapa 2: cinco hojas verdaderas, observando un crecimiento acelerado y una acumulación de nutrientes. El primer control de plagas se da en la etapa 3: diferenciación del punto de crecimiento (30 a 40 días), en esta etapa el punto de crecimiento se encuentra sobre la superficie del suelo. El indicador a floración se observa en la etapa 4, apreciando la hoja bandera a los 40 y 60 días, aplicándose una fertilización compuesta (N, K, P), completando el crecimiento del área foliar de la planta. La fase de reproducción se da en la etapa 5 (60 a 70 días), iniciando la floración a antesis media. En la etapa 6 se logra el llenado de grano hasta el punto del grano masoso-lechoso

(70 a 90). El secado y madurez fisiológica del grano ocurre de los 90 a 120 días (etapa 7), en esta fase el grano logra llegar al porcentaje de humedad ideal para su cosecha.

**Figura 2.** Etapas fenológicas del sorgo.



Fuente: INATEC, 2017.

## 2.5. Producción de sorgo a nivel mundial

El sorgo se cultiva en diversas regiones del mundo destacando América, Asia y África, como cereal para consumo humano, animal, en la producción de forrajes y para la elaboración de bebidas alcohólicas y escobas. Su resistencia a la sequía, lo hace un cultivo importante en regiones áridas y semiáridas; en el contexto mundial en el grupo de cereales de grano pequeño el sorgo ocupa el quinto lugar en volumen de producción.

En el año 2017 la superficie cosechada de este cultivo fue 36,425,648 hectáreas, con una producción que superó los 60 millones de toneladas anuales y con un rendimiento promedio mundial de 1.65 toneladas por hectáreas en ese año (FAOSTAT, 2018) (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Principales países productores de sorgo.

País	Superficie (Ha) Cosechada	Producción (T)	Rendimiento (T/Ha)
Estados Unidos	2,041,660	9,241,760	4.526
Nigeria	5,820,000	6,939,000	1.192
México	1,427,801	4,853,110	3.399
Etiopia	1,840,018	4,815,595	2.617
India	5,862,000	4,570,000	0.779

Fuente: FAOSTAT (2018).

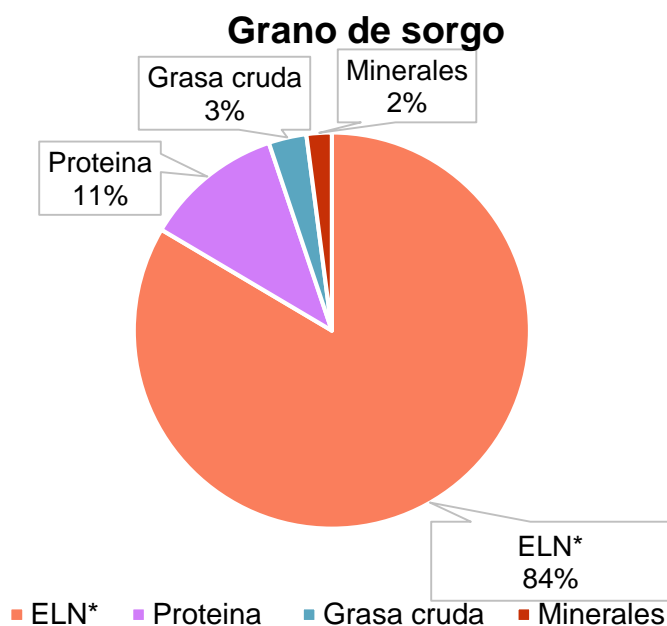
## 2.6. Producción de sorgo en México

La utilización de semilla híbrida de sorgo impulsó la producción en México durante los años 50's, convirtiéndolo en un cultivo clave para la elaboración de alimentos balanceados de consumo pecuario (Flores, 2012). En 2017 México fue el tercer productor de sorgo a nivel mundial (SAGARPA, 2017), registrando una superficie de cosecha de 1,324,928 hectáreas, en donde el 62.47 % correspondió a la zona noreste del país (FAOSTAT, 2017). El noreste de México es la región con mayor producción de sorgo del país, destacando Tamaulipas, Nuevo León y San Luis Potosí con una superficie cosechada de 827, 683.51 hectáreas entre el ciclo agrícola primavera-verano y otoño-invierno (SAGARPA, 2017).

La superficie sembrada en México durante el año agrícola 2018 fue de 1,335,510.80 hectáreas en la modalidad de riego más temporal el cual 1,300,528.05 hectáreas son cosechadas y el resto es siniestrada llegando a tener un total de 4,531,097.38 toneladas con un rendimiento promedio de 3.48 ton/ha (SIAP, 2018).

## 2.7. Importancia del cultivo de sorgo

A nivel mundial, este grano es materia prima en el desarrollo de alimentos balanceados para consumo animal y harinas panificables para consumo humano (INTA, 2011). En México el 99% de la producción de este cultivo se utiliza para la alimentación ganadera, gracias a su composición química representa una alternativa para sustituir granos básicos como el maíz amarillo (Figura 3). El origen de esta gramínea se remota a zonas tropicales. Actualmente, el mejoramiento genético de este grano ha logrado una adaptación a un enorme número de ambientes por consiguiente se considera un cultivo de seguridad alimentaria mundial. La buena adaptación y el buen rendimiento en distintas regiones del país y la importancia bajo un sistema de producción sustentable, ha permitido que la superficie sembrada se incremente (SAGARPA, 2017).



**Figura 3.** Composición química promedio del grano de sorgo.

\*ELN = extracto libre de nitrógeno que da una indicación de los carbohidratos no fibrosos.

## 2.8. Mejoramiento genético de sorgo

En el mejoramiento genético y la producción de semillas híbridas de sorgo se da seguimiento al esquema de las líneas A, B, y R, empleando nuevas líneas progenitoras (femeninas o masculinas) en función del carácter buscado. Las líneas A y B son isogénicas y solo difieren en que la línea A es androestéril y la línea B es androfértil, de tal forma que la progenie de la cruce A x B es la línea A, como hembra y la línea B como macho mantenedor de la androesterilidad. Las líneas de sorgo que poseen genes restauradores de la fertilidad no pueden utilizarse como líneas B ó en su caso puede ser posible con un tipo de citoplasma diferente 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 se va a esterilizar es el progenitor recurrente y masculino en todos los cruzamientos. La línea androestéril se utiliza como progenitor femenino porque el citoplasma se transmite sólo mediante la célula huevo, después de lograr la conversión en androesterilidad, la línea se designa como línea A. La línea A y su línea B son isogénicas en cuanto a genotipo, pero tienen citoplasmas distintos.

La fertilidad del polen se restaura por un gene dominante *Msc*, originalmente presente en variedades de milo o con origen en milo. En la mayoría de los citoplasmas se requieren otros genes modificadores para obtener una buena producción de semilla en una amplia gama de ambientes.

Para seleccionar una línea restauradora de la androfertilidad denominada línea R, es necesario que el polinizador: a) presente un gene dominante restaurador de la fertilidad y los genes modificadores necesarios para complementar la restauración de la fertilidad en el híbrido F1. b) que produzca abundante polen viable (fértil) y c) se combine con el progenitor androestéril femenino para generar un híbrido de alto rendimiento con calidad de grano y forraje aceptables.

## **2.9. Inflorescencia de la planta**

El sorgo es una planta hermafrodita, ya que presenta los órganos masculinos y femeninos en la misma flor y es considerada como una planta predominantemente autógena. Las florecillas se encuentran en racimos que a su vez constituyen ramas secundarias procedentes de un eje central o raquis, formándose así una panícula generalmente de forma piramidal. Las inflorescencias de la planta de sorgo varían de una panícula compacta a una panícula abierta (Poehlman, 2005).

Las espiguillas se encuentran en pares, una es sésil, bisexual y fértil; y la otra estéril con flores estaminadas y sostenida por un pedicelo corto, salvo por la espiguilla terminal que nace en una rama y va acompañado de dos espiguillas pediceladas. La espiguilla sésil posee dos flósculos, uno perfecto y fértil, el otro estéril. La espiguilla pedicelada posee estambres o bien es estéril (Flores-Naveda *et al.*, 2013). La espiguilla sésil varía en su forma desde lanceolada hasta casi circular y contiene dos pistilos y tres estambres, cada pistilo está compuesto de un estigma plumoso unido a un estilo corto y vigoroso que se extiende hasta el ovario. Las anteras están unidas a filamentos largos en forma de hilo. Las espiguillas sésiles también constan de dos glumas y dos lemas, la lema inferior es más corta y puede tener una larga prolongación llamada barba o arista, por último se encuentra también la palea.

## **2.10. Antesis**

La etapa de antesis se refiere al periodo de inicio de la floración, durante el cual las espiguillas se abren y las anteras se encuentran extendidas, en este momento es cuando se inicia la emisión de polen en la planta de sorgo. La floración en una inflorescencia de sorgo, normalmente se inicia tan pronto como el pedúnculo completa su elongación (House, 1985).



La floración en el cultivo de sorgo inicia a los 30 y 40 días después de la germinación de la semilla, la flor inicia su desarrollo en una inflorescencia antes de la floración alrededor de 6 a 10 días en donde se forma una “bota o envoltura” que sobresale en la vaina de la hoja bandera. El sorgo usualmente inicia la floración a los 55 a 70 días en climas cálidos (House, 1985) aunque depende del genotipo. Dos días después de la emergencia de la inflorescencia de la “bota”, la flor comienza abrir. La floración inicia en las espiguillas sésiles en el ápice y progresa hacia la parte inferior durante cuatro a cinco días, para terminar la floración completa en la inflorescencia en aproximadamente seis días.

### **2.11. Polinización y fertilización de la flor**

Cuando el estigma llega a ser visible, los filamentos del estambre se alargan y las anteras llegan a ser pendientes. Este proceso toma alrededor de diez minutos, la flor permanece abierta de 30 a 90 minutos después de la dehiscencia de las anteras, el vertimiento o salida del polen se realiza a través del poro apical.

El estigma es polinizado antes de la emergencia de las anteras de las espiguillas, cuando el grano de polen llega al estigma germina inmediatamente y desarrolla el tubo polínico cada uno con dos núcleos, un núcleo vegetativo y dos núcleos espermáticos. El núcleo espermático se divide en dos, uno fertiliza la célula huevo para formar el embrión ( $2n$ ) y el otro ensambla los dos núcleos polares para formar el endospermo ( $3n$ ) a este proceso se le denomina doble fecundación.

Después de la polinización las glumas se cierran, aunque todavía resaltan las anteras y los estigmas vacíos. El polen conserva su viabilidad de tres a seis horas en la antera a temperatura ambiente y de 10 a 20 minutos afuera. En refrigeración, el polen conserva su viabilidad de 3 a 4 días (Sanchez, y Smeltzer, 1965). El polen requiere de luz para germinar. Bajo condiciones normales la fertilización de un estigma receptivo se realiza en dos horas, la diferenciación del órgano ocurre en los siguientes 12 días y el ovulo fecundado y maduro continúa

creciendo, hasta alcanzar la madurez fisiológica de la semilla (Schertz y Dalton, 1980).

El sorgo presenta un promedio de polinización cruzada de un 2 al 10% en tipos silvestres con panoja abierta. Aunque, es una planta predominantemente autógama, la protoginia puede causar por lo menos un 5% de polinización cruzada natural (Purseglove, 1972). Las flores con un tipo de gluma grande o muy larga no se abren y es cuando ocurre el fenómeno llamado cleistogamia, que es cuando el grano de polen es llevado de las anteras hacia el estigma en una misma flor.

El descubrimiento de la esterilidad genético-citoplasmica en sorgo, ha hecho posible la producción comercial de semilla híbrida, en donde la planta macho estéril, desarrolla anteras que producen polen inviable (House, 1985).

## **2.12. Generación de líneas experimentales de sorgo**

El sorgo híbrido se mejora produciendo líneas progenitoras superiores, para el caso de las líneas de sorgo carentes de genes restauradores se agrupan como líneas B y por retrocruza se convierten en líneas A androestériles; las líneas que poseen genes de restauración de la androfertilidad en la F1 en cruza con las líneas A, será fértil.

Cuando se generan nuevas líneas mediante hibridación y selección por el método de pedigree, las inflorescencias de las plantas seleccionadas se cubren con bolsas para evitar el cruzamiento. La emasculación de las líneas B puede suprimirse utilizando una línea A con androesterilidad citoplásmica como el progenitor femenino para retrocruzar con aquellas líneas B de reciente formación, a las cuales se les desea formar de su línea isogénica A.

Las líneas utilizadas como progenitoras en la producción de semilla deben presentar un alto grado de pureza varietal, las líneas A, macho estéril deben presentar alto grado de esterilidad masculina o muy baja proporción de plantas

fértiles, además con los mismos días a floración que las líneas B. Los pares de líneas androestériles A, B deben ser rendidoras, estables, tolerantes o resistentes a blasting y con estigmas muy receptivos al polen.

### **2.13. Diseño de nuevas variedades de sorgo**

El diseño de una nueva variedad consiste en incorporar genes que determinan las características agronómicas deseables, las cuales permitirán tener un genotipo en donde el crecimiento y desarrollo se ajustará a la variación de las condiciones propias de un ambiente de producción en particular, identificándose como una nueva variedad apta para la producción en la región para la cual se diseñó. Las especies vegetales mejoradas que se siembran pueden ser de cuatro tipos (Márquez, 1973; Valdés *et al.*, 1997). 1) variedades de polinización libre. 2) variedades tipo línea pura. 3) variedades híbridas y 4) variedades clonales. Estas variedades se forman a través de cuatro etapas básicas:

1. Adquisición de la variabilidad genética exigida para el diseño de la variedad. Se definen las características a conjuntar en el genotipo, deberá estar presente la variabilidad genética elegida y el tipo de herencia de los genes.

2. Elección y desarrollo del método o los métodos de mejoramiento. En esta etapa se desarrolla la planeación del programa de mejoramiento genético a corto, mediano ó largo plazo considerando los recursos económicos y humanos disponibles, eligiendo el ó los métodos de mejora más apropiados para conjuntar los genes de interés en la nueva variedad a generar o líneas experimentales, según sea el caso: polinización libre, líneas puras, híbridos y clones.

3. Evaluación del germoplasma experimental. Se evalúa preliminarmente el germoplasma experimental, generado bajo diseño experimental en la misma localidad de formación, así como en diversas localidades y ciclos, para de esta manera poder seleccionar los más sobresalientes, evaluando su rendimiento y calidad, para proceder a la liberación de los más sobresalientes como nuevas

variedades, simultáneamente en lotes aislados, se incrementa la semilla de estos genotipos para ahorrar tiempo al llevarlos a la producción comercial.

4. Liberación de nuevas variedades. El trabajo de evaluación del germoplasma elite preseleccionado y seleccionado en diversas localidades, es la base para la liberación de nuevas variedades, así cuando se tiene un grupo de variedades experimentales que se han identificado con alto potencial de rendimiento, se procede a evaluarlas en localidades de la región potencial de cultivo, incluyendo testigos como tratamientos adicionales, utilizando diseños experimentales de bloques completos al azar, bloques incompletos como látices, experimentos en serie, para después someter los datos a un análisis de varianza (Steel y Torrie, 1980; Ostle, 1983), esto permitirá determinar el efecto de la interacción genotipo por ambiente y en base a un análisis específico, definir aquellos genotipos que por su aceptable comportamiento agronómico en los ensayos pueden recomendarse para liberarse como nuevas variedades.

En la etapa de liberación final de híbridos experimentales de sorgo (Valdés, 1993) menciona seis etapas: 1) observación preliminar de los híbridos experimentales respecto a sus progenitores y testigos comerciales, para identificar aquellos visualmente superiores. 2) evaluación bajo diseño experimental y alguna prueba estadística de comparación de medias, para identificar aquellos, tanto de manera visual como estadística por su buen comportamiento agronómico. 3) evaluación experimental en localidades para conocer su consistencia en rendimiento a través de diversos ambientes durante dos o tres años de prueba. 4) validación y demostración en parcelas semicomerciales con productores agrícolas. 5) multiplicación e incrementos de semilla y 6) venta, producción de semilla y comercialización.

#### **2.14. Mantenimiento de líneas de sorgo**

La autofecundación es la técnica mediante se conserva integra la genética de las líneas de sorgo, para asegurar la autofecundación de manera aislada se pueden cubrir panícula por panícula con bolsas de papel, todo esto previo a la inducción a floración de la planta para mantener la pureza de las líneas.

Para el mantenimiento de líneas de producción de híbridos se necesita que las líneas B y R se realiza por autofecundaciones, y la línea A, se entrecruza con su isogénica B (línea igual, pero con citoplasma fértil), teniendo como resultado plantas androesteriles de la línea A y plantas fértiles pertenecientes a la línea B (Argueta, 2002).

#### **2.15. Eliminación de plantas fuera de tipo**

En un lote de producción de semilla es de vital importancia tenerlo libre de cualquier planta fuera de tipo en caso de aparecer deben ser eliminadas desde la raíz y detectadas a tiempo antes de que liberan granos de polen de los surcos femeninos en caso de que se busque producir semilla híbrida en el cultivo del sorgo, el lote para producción debe de estar libre de malezas ya que estas compiten con la planta por agua y nutrientes dentro del grupo de malezas existen dos especies de malezas que se debe de poner más atención correhuela y Zacate Jhonson.

El Zacate Jhonson, sorgos escoberos y forrajeros son un contaminante genético ya que su polen se puede cruzar con las líneas productoras de semilla, por otra parte, la maleza correhuela, puede ser un contaminante físico si se deja llegar a floración ya que la semilla de la correhuela presenta forma y tamaño similar al de la semilla de sorgo.

#### **2.16. Producción e incremento de semilla de sorgo**

Después del desarrollo de una nueva variedad y antes de que el agricultor pueda utilizarla como semilla para siembra, se debe de incrementar la semilla original, para lo cual se deben de considerar los siguientes aspectos: disponer de

un terreno agrícola aislado de otros sembrados con sorgo, con buena fertilidad, sin deficiencias de fierro y/o magnesio, nivelado para una buena distribución del riego, sin problemas de salinidad, libre de malezas principalmente de zacate Johnson (*Sorghum halepense*) y correhuela (*Convolvulus arvensis*).

Un campo destinado a la producción de semilla de sorgo, no deberá haber sido sembrado con sorgo el ciclo anterior. Sin embargo, si fue cultivado con sorgo, debe regarse por lo menos tres semanas antes de ararlo y rastrearlo para destruir las plántulas que germinaron.

Los terrenos de riego son ideales para la producción de semilla, debido a que un buen suministro de humedad en el suelo, asegura un rendimiento máximo y una mínima producción de polen en el progenitor con esterilidad masculina, además los lotes de producción de semilla pueden madurar más uniformemente.

El terreno debe localizarse en un lugar de fácil acceso durante toda época del año, a fin de facilitar las visitas de inspección, desmezcle de plantas fuera de tipo y para realizar una adecuada cosecha.

Cualquiera que sea la proporción utilizada, se debe de considerar una distancia que no exceda los 12 metros entre polinizadores. Se sugiere una densidad de población de 250, 000 plantas por hectárea. Es importante tener especial cuidado al momento de la siembra, en limpiar perfectamente los botes de la sembradora para evitar mezclas de las líneas progenitoras.

La fecha de siembra de las líneas progenitoras debe realizarse de tal manera que coincidan en floración. Se espera una baja frecuencia de cruza extrañas, cuando los progenitores coinciden en la floración y una gran parte de las flores femeninas son polinizadas en pocos días. Los híbridos que requieren diferentes fechas de siembra para sus progenitores necesitan un mayor aislamiento y una cuidadosa atención a la fecha de siembra. Los surcos extras del macho polinizador alrededor del campo se recomiendan para asegurar la polinización de las líneas A, principalmente en los extremos y en el lado de los vientos prevalecientes.

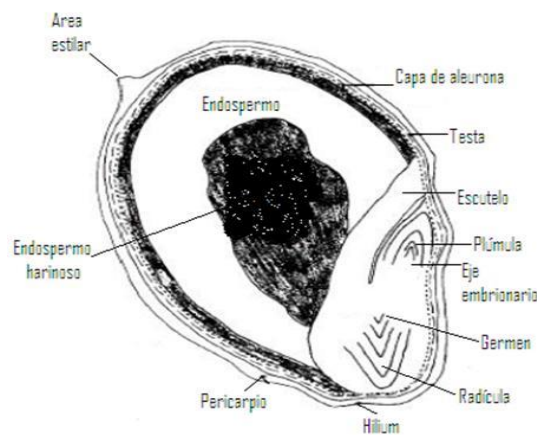
El técnico de semillas debe tener un conocimiento preciso del comportamiento de los progenitores a través de los años en distintas fechas de siembra y tomar en cuenta los factores climáticos, época de siembra y estabilidad del patrón de floración de los progenitores, para definir cuándo se deben de sembrar, tanto el progenitor hembra (línea A) como el macho (línea R).

## 2.17. Estructura de la semilla de sorgo

La semilla de sorgo es un cariósipide también llamado grano y es simplemente un ovario fecundado y maduro, está compuesto básicamente por pericarpio o testa (cubierta exterior), endospermo (tejido de almacenamiento) y embrión. La proporción relativa de cada una de las partes del grano, varía de acuerdo al genotipo y con las condiciones ambientales bajo las cuales se produjo el grano.

El pericarpio define el color del grano de sorgo y por tanto es donde se encuentran los genes que controlan el color, la capa externa o pericarpio originado en la pared del ovario. Se divide en tres tejidos histológicos: epicarpio, mesocarpio y endocarpio. A continuación, se presenta el diagrama del cariósipide de sorgo ver Figura 4.

**Figura 4.** Estructura de la semilla de sorgo.



Fuente: Rooney and Miller, 1982.

## **2.18. Regla para la calificación de semilla de sorgo**

Los documentos oficiales denominados reglas para la calificación de semillas, son utilizados en los programas de calificación y certificación de semillas del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), como una herramienta de apoyo, para calificar la calidad genética, física, fisiológica y fitosanitaria de las semillas en sus diversas categorías.

Estas reglas las expide la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) a través del SNICS. En la regla para la calificación de semilla de sorgo se especifican los factores y niveles de calidad en campo y laboratorio, para calificar las características o atributos de calidad genética, física, fitosanitaria y fisiológica de las semillas, el procedimiento de calificación de semillas y los requisitos para la homologación de categorías de semillas con las de otros países.

Estos documentos son de consulta pública y su objetivo es identificar los factores y niveles mínimos de calidad en la producción en campo y evaluación en laboratorio, de acuerdo a las categorías de semillas previstas en la Ley Federal de Producción, Certificación y Comercio de Semillas (LFPCCS).

Las reglas para la calificación de semillas se elaboran para cada género y especie o cultivo, y son sometidas a un proceso de revisión y aprobación por parte de los distintos Grupos de Apoyo Técnico y expertos de los diferentes cultivos.

Estos documentos tienen sustento jurídico en la Ley Federal de Producción, Certificación y Comercio de Semillas (LFPCCS) y en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SAG/FITO-2013.



### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Localización del sitio experimental

El presente trabajo de investigación se estableció durante el ciclo agrícola primavera-verano, 2018, bajo condiciones de campo abierto en el Campo Experimental Buenavista de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Saltillo, Coahuila, el cual se encuentra ubicado a una latitud de 25° 21'33" N, longitud de 101°02'20" W y a una altitud de 1, 731 msnm (Google Earth, 2019). La temperatura promedio anual es de 14 a 18°C con un clima del subtipo seco semicálido.

#### 3.2. Germoplasma utilizado

Se utilizó un testigo híbrido comercial, así como nueve líneas experimentales de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) del Programa de Mejoramiento de Sorgo del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS) del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

#### 3.3. Tratamientos

Los genotipos evaluados en esta investigación en el ciclo primavera-verano 2018 se muestran en el cuadro 3.

**Cuadro 3.** Genotipos de sorgo.

<b>Genotipo</b>
LES 291
LES 184
LES 5
LES 197
LES 194
LES 231
LES 203-3
LES 296
LES 103-1
P82G63

### **3.4. Manejo agronómico**

Durante las diversas etapas fenológicas del cultivo, se realizaron diferentes actividades de manejo agronómico, para una óptimo crecimiento y desarrollo del cultivo. Se realizaron labores de preparación del terreno, con dos pasos de rastra y el surcado, el área total del experimento fue de 1017 m<sup>2</sup>.

### **3.5. Siembra y densidad**

Al momento de la siembra el suelo se encontraba con la suficiente humedad, ya que se realizó un riego de pre siembra, para activar el proceso de germinación de la semilla, realizándose en forma manual, a una densidad de 12 plantas por metro lineal y a una distancia de 0.75 m entre surcos. La emergencia ocurrió entre el séptimo y octavo día, después de la siembra; 10 días después se realizó el raleo de forma manual, para determinar una densidad ideal, dejando 60 plantas por unidad experimental.

### **3.6. Fertilización**

Para la fertilización del cultivo del sorgo se realizó una aplicación de fertilizante granulado al momento del primer aporque o escarda, para lograr la nutrición ideal de las plantas se utilizó una mezcla física de los fertilizantes DAP 18-46-0 + Urea 46-0-0 que se efectuó a los 40 días de haber establecido el cultivo. Asimismo, se realizaron aplicaciones foliares a base de macronutrientes y micronutrientes a base de la fórmula 20-20-20.

### **3.7. Control de malezas**

Una vez que se sembraron todas las parcelas experimentales se procedió con la aplicación de un herbicida pre-emergente a base del ingrediente activo Atrazina, posteriormente a los 25 días se realizó un control de malezas de forma manual con herramientas de labranza y semanalmente se realizaron monitoreos

para eliminar las malezas que se presentaban en competencia con el cultivo, a través de control manual con la finalidad de mantener lo más limpio posible el área experimental y que las malezas no generaran competencia por agua, luz y nutrientes.

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

Para el control de plagas y enfermedades se realizaron monitoreos semanalmente, para identificar posibles daños y determinar el tipo de control. Asimismo, se realizó un control preventivo o curativo de acuerdo a la incidencia de la plaga y la etapa fenológica del cultivo, con el objetivo de disminuir el número de plagas en donde se eliminaron posibles hospederos. A su vez, se realizaron liberaciones de fauna benéfica y aplicaciones de insecticidas.

En la fase vegetativa el primer control que se realizó fue preventivo a los 30 días para la plaga de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y se realizó el mismo control para todos los genotipos evaluados fue mediante la aplicación de un insecticida con ingrediente activo cipermetrina con una relación de 15 ml/bomba, posteriormente a los 45 días de establecimiento del cultivo se realizó un control correctivo para la plaga antes mencionada realizando aplicación del insecticida con ingrediente activo (cipermetrina) con relación de 15ml/bomba, en esta etapa también se realizaron liberaciones de insectos benéficos como lo son las crisopas (*Chrysopa perla*) como medida de control preventivo para áfidos, en la etapa reproductiva la plaga que se presentó fue el pulgón amarillo (*Melanaphis sacchari*) para combatir esta plaga se realizó un control correctivo aplicando una mezcla de 2 insecticidas con diferentes ingredientes activos (clorpirifos + imidacloprid).

Para el control de las enfermedades foliares en etapa vegetativa se realizaron aplicaciones de fungicida al follaje a base del ingrediente clorotalonil, esto como medida preventiva para evitar el arribo de algún patógeno que cause alguna posible enfermedad en las hojas y en la etapa de fructificación del grano

se realizó una aplicación preventiva de un fungicida a base del ingrediente activo propiconazol para evitar algún daño por hongo en la panícula.

### **3.9. Cosecha**

La cosecha se realizó en la tercera semana de octubre en etapa de madurez fisiológica final a los 154 días de establecido el cultivo, cuando la semilla de sorgo se encontraba en el contenido de humedad ideal para ser cosechada. La cosecha se realizó de forma manual, utilizando navaja para cortar las panículas de sorgo. Posteriormente, se realizó el secado de forma natural con exposición al sol con el objetivo de disminuir el contenido de humedad en la semilla.

### **3.10. Trillado de grano**

Esta actividad consistió en separar todos los granos de la panícula o también llamada panoja, se utilizó una pieza de madera artesanal para remover el grano de la panícula y se desprendiera fácilmente, después con ayuda de un ventilador se eliminaron las glumas e impurezas, ya el grano limpio se colocó en frascos de plástico por panícula para la estimación de la variable rendimiento de grano.

### **3.11. Diseño experimental**

En el presente trabajo de investigación se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, utilizando diez genotipos de sorgo con tres repeticiones para un total de 30 unidades experimentales. Para el análisis estadístico de los datos se realizó un análisis de varianza con el paquete estadístico SAS Institute y la prueba de comparación de medias por Tukey ( $P \leq 0.05$ ), siendo el modelo el siguiente:

El diseño de bloques al azar es:

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

En donde:

$Y_{ij}$  = es la observación del tratamiento  $i$  en el bloque  $j$ .

$\mu$  = es el efecto verdadero de la media general.

$\tau_i$  = es el efecto del  $i$ -ésimo tratamiento.

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

$\varepsilon_{ij}$  = es el error experimental.

Se supone que:

- 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  $\tau_i$  es el mismo en todos los bloques.

### **3.12. Variables evaluadas**

#### **3.12.1. Días a floración (DF)**

Esta variable se evaluó cuando en la parcela las plantas de sorgo, presentaban el 50% de las panículas se encontraban en antesis media (al inicio de la etapa reproductiva).

#### **3.12.2. Altura de planta (AP)**

Se utilizó una regla graduada en cm, para medir la altura de la planta de sorgo, desde la base del tallo hasta la parte apical de la panícula.

### **3.12.3. Longitud de panícula (LP)**

Para esta variable se ocupó una regla graduada de 30 cm para medir desde el punto de inserción de la panícula hasta la parte apical.

### **3.12.4. Longitud de excursión (LE)**

Esta variable se midió con una regla de 30 cm desde la hoja bandera hasta el punto de inserción de la panícula.

### **3.12.5. Ancho de hoja (AH)**

Se seleccionó una hoja de la parte central de la planta, posteriormente se utilizó una cinta métrica y se midió el ancho en la parte central de la hoja, reportándose en (cm).

### **3.12.6. Longitud de hoja (LH)**

Se seleccionó una hoja de la parte central de la planta y con ayuda de una cinta métrica se midió desde la base hasta el ápice de la hoja, el resultado se reportó en centímetros (cm).

### **3.12.7. Diámetro de tallo (DT)**

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 milímetros (mm).

### **3.12.8. Incidencia de daño por aves (IDA)**

Esta variable se evaluó de acuerdo al porcentaje de daño presentado por el ataque de aves en la panícula. Este parámetro se tomó en la etapa de madurez fisiológica.

### **3.12.9. Enfermedades foliares (EF)**

Se evaluará en forma visual mediante una escala de 1 al 5. Dónde: (1) es completamente sana; (2), de 1 a 10% de daño; (3), de 11 a 25% de daño; (4), de 26 a 40% de daño y (5), más de 41% de daño. En la etapa de madurez fisiológica.

### **3.12.10. Grados Brix (GB)**

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

### **3.12.11. Rendimiento de grano en gramos por planta (RGP)**

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.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de varianza (cuadro 4) realizado para el presente trabajo se encontraron diferencias altamente significativas entre los distintos tratamientos para las variables días a floración (DF), altura de planta (AP), longitud de panícula (LP), longitud de excursión (LE), ancho de hoja (AH), longitud de hoja (LH) incidencia de daño por aves (IDA), enfermedades foliares (EF) y rendimiento de granos en gramos por panícula (RGP), en contraparte las variables diámetro de tallo (DT) y grados Brix (GB) no presentaron diferencias significativas entre tratamientos.

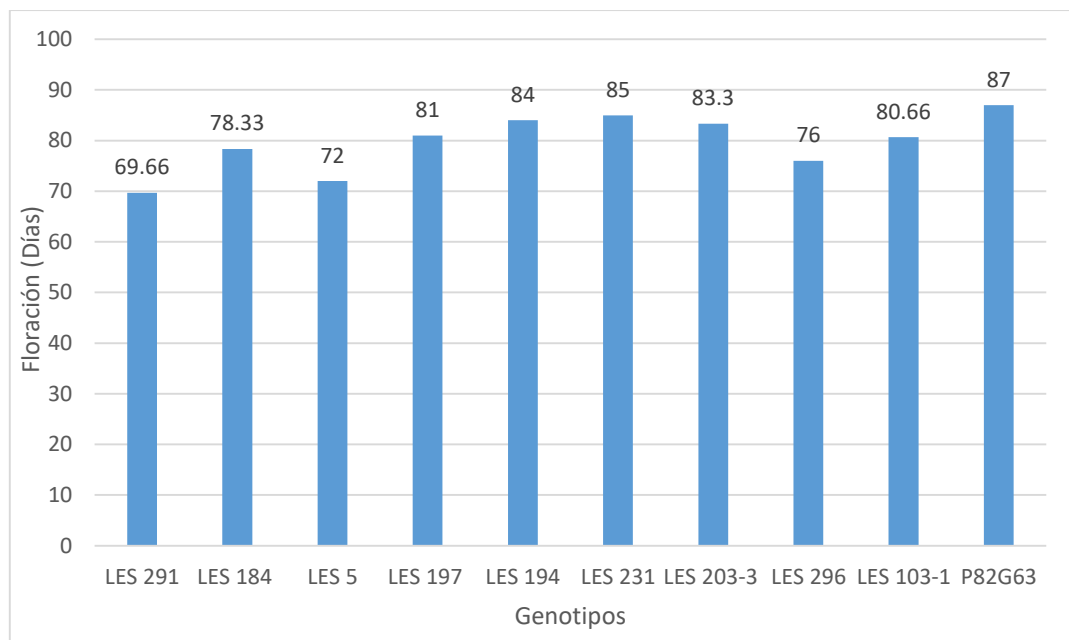
### 4.1. Días a floración

El análisis de varianza (Cuadro 4), nos indica que se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, esto debido al comportamiento que presentaron los diversos genotipos en donde se presentaron líneas experimentales de sorgo precoces a intermedias en días a floración.

La floración del cultivo de sorgo generalmente empieza cuando la panícula se encuentra a antesis media es decir cuando comienza la dehiscencia de las anteras y la salida del polen en ese momento el pedúnculo da por terminada su elongación para que una panícula haya floreado por completo consta de un periodo aproximadamente de 4 a 5 días (Martínez, 2002).

En la Figura 5, para la variable días a floración (DF), se puede observar en la gráfica que la línea experimental de sorgo denominada LES 291, resultó inferior a los otros genotipos evaluados con menos días a floración con 69.66 días, seguido por la línea experimental de sorgo LES 5 con una diferencia de 2.34 días; por otro lado, también se observa que el híbrido comercial fue el genotipo que presentó el mayor promedio para la variable días a floración con 87 días.





**Figura 5.** Comparación de medias, para la variable días a floración (días) de líneas experimentales de sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2018 en Saltillo, Coahuila.

**Cuadro 4.** Análisis de varianza de variables agronómicas en líneas experimentales de sorgo evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2018 en Saltillo, Coahuila.

F.V.	GL	DF (días)	AP (cm)	LP (cm)	LE (cm)	AH (cm)	LH (cm)	DT (mm)	IDA (%)	EF (1-5)	GB	RGP (g)
Tratamiento	9	97.07**	791.29**	50.11**	50.72**	3.80**	242.34**	21.10	2994.15**	3.48**	4.78	791.29**
Bloque	2	30.10	108.49	12.85	3.21	3.16*	214.85*	17.44	26.43	0.19	7.53	108.49
Modelo	11	223.30**	667.14**	43.33**	42.08**	3.69**	237.34**	20.44	2454.56**	2.89**	5.28	667.14**
Error	18	11.69	72.22	4.87	6.40	0.63	59.37	9.47	13.03	0.09	3.34	72.22
CV%		4.29	7.70	8.76	21.81	9.96	13.45	12.61	20.82	14.76	21.27	7.70

F. V= Fuentes de variación; G.L.= Grados de libertad; CV%= Coeficiente de variación en porcentaje; DF= Días a floración; AP= Altura de planta; LP= Longitud de panícula; LE= Longitud de excursión; AH= Ancho de hoja; LH= Longitud de hoja; DT= Diámetro del tallo; IDA= Índice de daño por aves; EF; Enfermedades foliares; GB= Grados Brix; RGP= Rendimiento de grano en gramos por planta; \*, \*\* = Significativos al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

**Cuadro 5.** Comparación de medias de variables agronómicas en líneas experimentales de sorgo evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2018 en Saltillo, Coahuila.

Genotipo	DF (días)	AP (cm)	LP (cm)	LE (cm)	AH (cm)	LH (cm)	DT (mm)	IDA (%)	EF (1-5)	GB	RGP (g)
LES 291	69.66 d	85.67 e	24.09 b-d	9.27 bc	6.65 cd	44.03 b	22.03 a	6.00 Cd	4.33 a	7.33 a	46.86 d
LES 184	78.33 a-d	113.22 a-d	24.39 b-c	10.85 a-c	9.42 a	58.78 ab	24.38 a	2.00 d	1.83 cd	9.53 a	87.97 a-c
LES 5	72.00 cd	92.56 d-e	22.10 cd	7.85 c	5.88 d	43.80 b	20.70 a	3.67 cd	1.67 cd	9.72 a	51.31 cd
LES 197	81.00 a-c	131.22 ab	23.67 b-d	15.38 ab	8.60 a-c	51.59 ab	22.94 a	1.33 d	1.07 d	6.68 a	93.02 ab
LES 194	84 ab	98.00 c-e	19.50 d	15.84 ab	8.21 a-c	72.91 a	21.98 a	0.00 d	3.33 b	6.96 a	60.73 b-c
LES 231	85.00 ab	133.67 a	24.56 b-d	16.13 ab	7.98 a-d	55.29 ab	23.78 a	1.33 d	1.00 d	8.35 a	101.56 a
LES 203-3	83.33 ab	120.89 a-c	28.83 ab	8.85 bc	9.01 ab	64.53 ab	27.40 a	13.33 c	1.13 d	9.75 a	76.74 a-d
LES 296	76.00 b-d	107.56 b-e	28.13 a-c	17.17 a	8.29 a-c	61.48 ab	26.60 a	4.00 cd	1.67 cd	10.27 a	79.38 a-d
LES 103-1	80.66 a-c	100.55 c-e	22.70 b-d	5.89 c	8.69 a-c	60.00 ab	25.19 a	41.67 b	1.50 cd	8.58 a	46.30 d
P82G63	87.00 a	120.00 a-c	33.89 a	8.74 bc	6.95 b-d	60.33 ab	29.00 a	100.00 a	2.33 c	8.83 a	0.00 e
Media	79.70	110.33	25.19	11.60	7.97	57.27	24.40	17.33	1.99	8.60	64.386
Tukey	10.01	24.88	6.46	7.40	2.32	22.56	9.01	10.57	0.86	5.35	36.717

.....continuación Cuadro 5.

Valores con la misma literal dentro de cada columna son estadísticamente iguales. DF= Días a floración; AP= Altura de planta; LP= Longitud de panícula; LE= Longitud de excursión; AH= Ancho de hoja; LH= Longitud de hoja; DT= Diámetro del tallo; IDA= Índice de daño por aves; EF; Enfermedades foliares; GB= Grados Brix; RGP= Rendimiento de grano en gramos por planta.

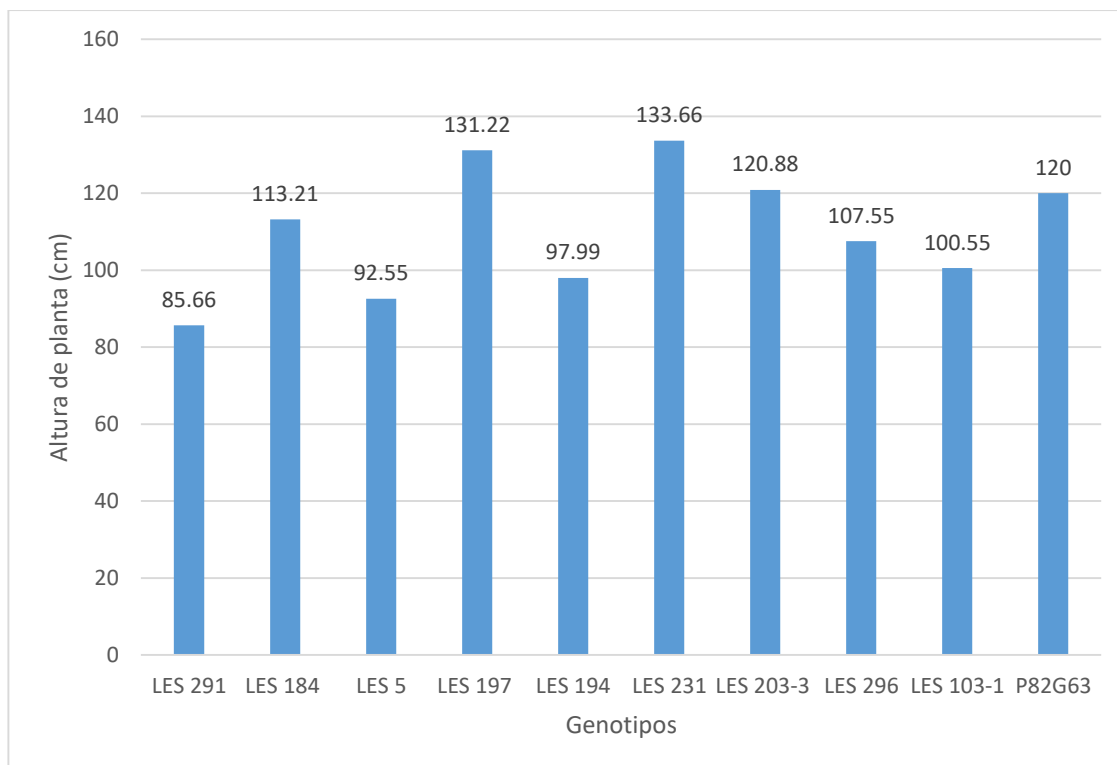
## 4.2. Altura de planta

En esta variable los resultados sobre tratamientos (genotipos) fueron altamente significativos, la altura de planta está determinada de forma genética, y puede existir diferencia entre los genotipos evaluados, debido a que la altura del tallo de la planta está dada de acuerdo al largo de los entrenudos que es controlado por cuatro genes recesivos, *dw1*, *dw2*, *dw3* y *dw4*, que trabajan de forma independiente sin modificar el número de hojas o el ciclo de crecimiento. Según el número de los genes mencionados que se presenten se presenta la altura promedio de las líneas de sorgo (Arnon, 1972).

El cultivo del sorgo después de la siembra, hasta los 25 días su crecimiento es lento, aunque pasando los 30 días su desarrollo aumenta de manera significativa (Cristianini, 1987). La disponibilidad de nutrientes, factores ambientales como lo son humedad y temperatura son cuestiones que se tienen que considerar para el mejor crecimiento de la planta (López y Galeato, 1982).

Para este parámetro de altura de planta se observa (Cuadro 5) que el rango de los resultados obtenidos es muy amplio oscilando desde 85.67 a 133.67 cm siendo la LES 194 la que presenta una mayor altura de planta.

En la Figura 6, para la variable altura de planta (AP), se muestra en la gráfica que la Línea Experimental de Sorgo (LES) con denominación LES 231, fue la que presentó mayor altura de planta con 133.66 cm; por otro lado, se puede observar que el híbrido comercial y la LES 203-3 presentan alturas similares con una media que oscila los 120 cm y la línea experimental de sorgo 291, fue la que presentó una menor altura de planta.



**Figura 6.** Comparación de medias, para la variable altura de planta en (cm) de líneas experimentales de sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2018 en Saltillo, Coahuila.

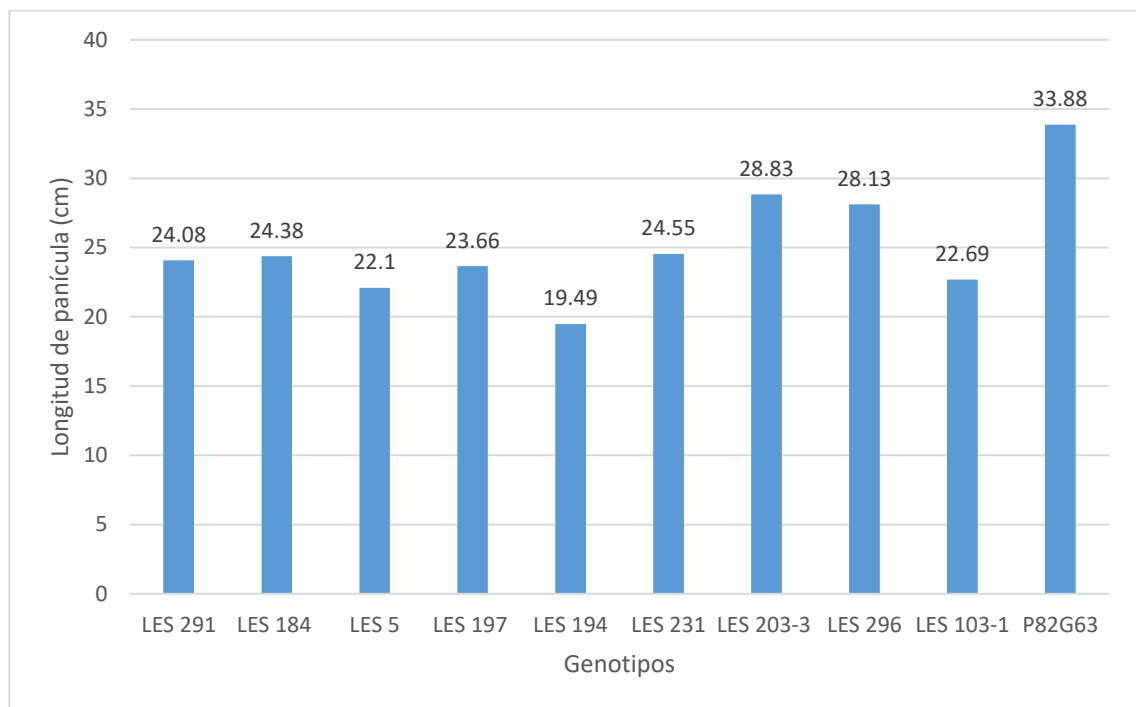
#### 4.3. Longitud de panícula

De acuerdo a los datos obtenidos para esta variable (Cuadro 5 y figura 7), se presentó una diferencia de 11.79 cm para la línea experimental de sorgo denominada LES 5, que presenta la menor longitud de panícula, por su parte el genotipo P82G63 fue el que obtuvo mayor valor para esta variable.

La panícula o también llamada panoja dependiendo de la región es el órgano donde se origina la inflorescencia de la planta de sorgo, su forma puede variar, ya sea corta y compacta, o en su contraste larga y abierta, con un tamaño que oscila de 4 a más de 25 cm de longitud y de 2 a más de 20 cm de ancho, la estructura central de la panícula se le denomina raquis el cual puede estar

totalmente cubierto por la densidad de las ramificaciones o de manera muy visible debido a la complejidad de la panoja (Somarriba, 1997).

Una panícula con forma abierta y con una buena excursión puede dar condiciones viables para el mejor secado de las semillas (Poehlman, 1965). El largo de la panícula depende de diversos factores entre los que destacan factores ambientales y de nutrición de acuerdo al manejo del cultivo (Miller, 1980).



**Figura 7.** Comparación de medias, para la variable longitud de panícula en (cm) de líneas experimentales de sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2018 en Saltillo, Coahuila.

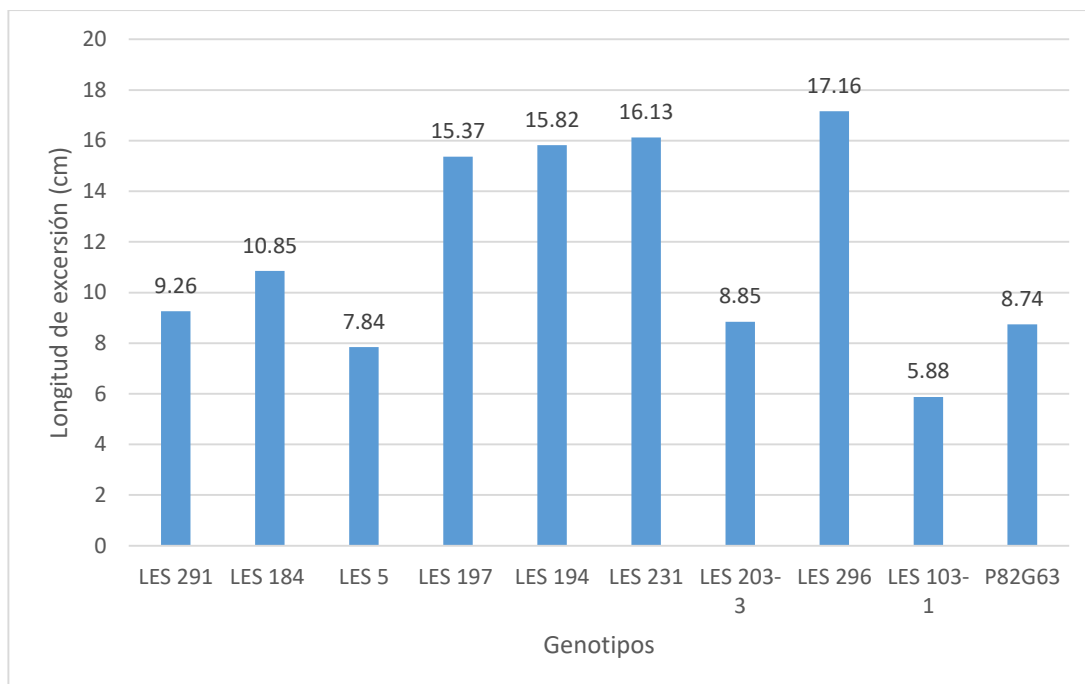
En la Figura 7, para la variable longitud de panícula (LP), se puede observar en la gráfica que el híbrido comercial P82G63, resultó superior a los otros genotipos evaluados con una longitud promedio de 33.88 cm, seguido por la línea experimental de sorgo LES 203-3 con una longitud promedio de 28.83 cm; por otro lado, también se observa que la Línea 194 fue la que presentó el menor promedio para la variable longitud de tallo.

#### **4.4. Longitud de excersión**

Los resultados obtenidos para longitud de excersión mostraron diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo al análisis de varianza que se muestra en el Cuadro 4, la longitud de excersión está relacionada con la longitud de la inflorescencia. Esta variable se produce en el entrenudo de la última hoja de la planta también llamada hoja bandera, hasta la parte apical del tallo o la base de la panícula. Este parámetro es de vital importancia, ya que al momento de la cosecha del grano de forma mecánica entre más alejado se encuentra los granos de las hojas, se evita aumentar el contenido de humedad en el grano. De la misma manera el daño por plagas y enfermedades en la parte basal de la panícula se reduce significativamente cuando se muestra un valor elevado en cuanto a la longitud de excersión (Villeda, 2014).

En la Figura 8, se observa que el genotipo que presentó el mayor promedio para la variable longitud de excersión (LE), fue la línea experimental de sorgo denominada LES 296 con un promedio de 17.16 cm, seguida por la Línea 231 con un promedio de 16.13 cm; por otra parte, el genotipo que presentó el menor ancho de hoja, fue la línea experimental de sorgo denominada LES 103-1 con un promedio de 5.88 cm y todos comparados con el híbrido comercial P82G63 que promedio 8.74 cm para esta variable.





**Figura 8.** Comparación de medias, para la variable longitud excersión en (cm) de líneas experimentales de sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2018 en Saltillo, Coahuila.

#### 4.5. Ancho de hoja y longitud de hoja

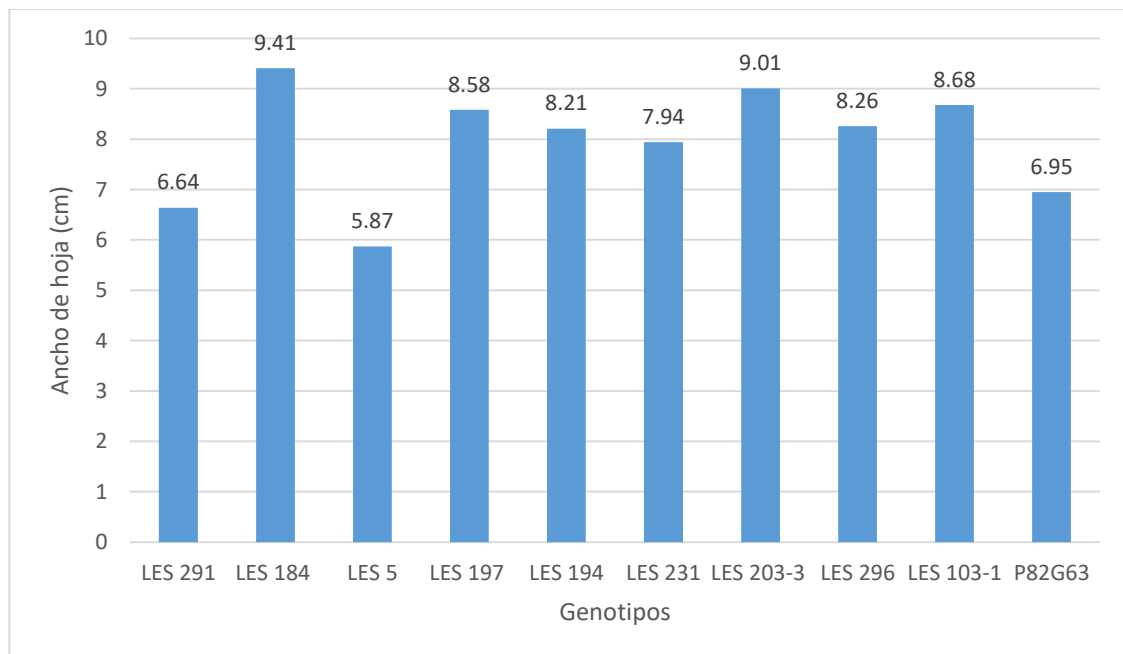
Para la variable ancho de la hoja y longitud de la hoja se mostraron diferencias altamente significativas entre tratamientos (cuadro 4) lo que se le puede atribuir al efecto que tiene el ambiente con el genotipo, a la disponibilidad de agua y nutrientes en el cultivo o quizá una buena síntesis de aminoácidos y proteínas estructurales para el desarrollo foliar de la planta.

La densidad de siembra, las condiciones ambientales en donde incluimos el fotoperiodo, y la competencia entre plantas por los nutrientes del suelo son factores a considerar para el buen desarrollo y crecimiento del área vegetativa de la planta (Miller y Barnes, 1980).

Para la variable ancho de hoja (AH), está no mostró diferencia significativa entre tratamientos lo que puede deberse al efecto del ambiente, disponibilidad de

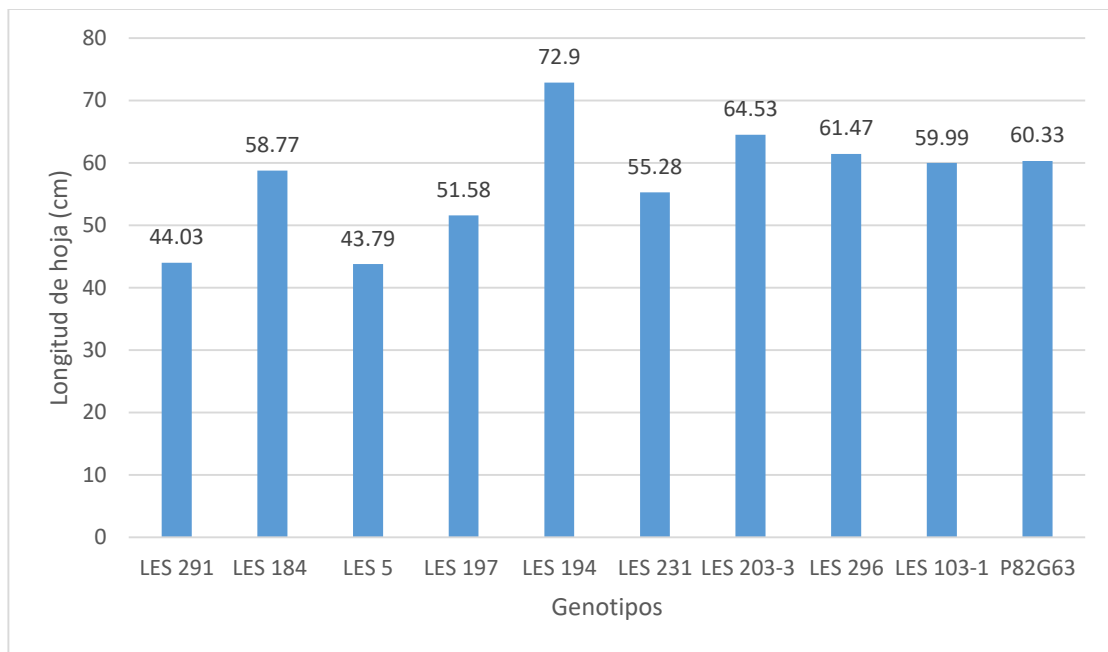
nutrientes, disponibilidad de agua, capacidad de síntesis de aminoácidos y proteínas estructurales en el desarrollo foliar de la planta, Miller y Barnes (1980), mencionan que la densidad de siembra, así como los factores ambientales y nutricionales en los cuales se desarrolla el sorgo, influyen en el desarrollo del área foliar de la planta. Además, el fotoperiodo puede constituir otro factor que incide en el crecimiento y desarrollo de la hoja y diversos órganos de la planta.

En la Figura 9, se observa que el genotipo que presentó el mayor promedio para la variable ancho de hoja (AH), fueron las líneas experimentales de sorgo denominadas LES 184 y LES 203-3 con promedios de 9.41 cm y 9.01 cm respectivamente, seguidas por la LES 103-1 con un promedio de 8.68 cm; en comparación con el híbrido comercial P82G63 que obtuvo un ancho de hoja promedio de 6.95 cm; por otra parte, el genotipo que presentó el menor ancho de hoja fue la línea experimental de sorgo denominada LES 5 con un promedio de 5 cm.



**Figura 9.** Comparación de medias, para la variable ancho de hoja en (cm) de líneas experimentales de sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2018 en Saltillo, Coahuila.

En la Figura 10, para la variable longitud de la hoja (LH), se muestra en la gráfica que la línea experimental denominada LES 194, fue la que presentó la mayor longitud de hoja con un promedio de 72.9 cm, en segundo lugar, se observa a la LES 203-3 con un promedio de 64.53, en comparación con el híbrido comercial P82G63 que promedio 60.33 cm para esta variable, por otro lado, se observa que la LES 5 presentó el menor promedio con 43.79 cm.



**Figura 10.** Comparación de medias, para la variable longitud de hoja en (cm) de líneas experimentales de sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2018 en Saltillo, Coahuila.

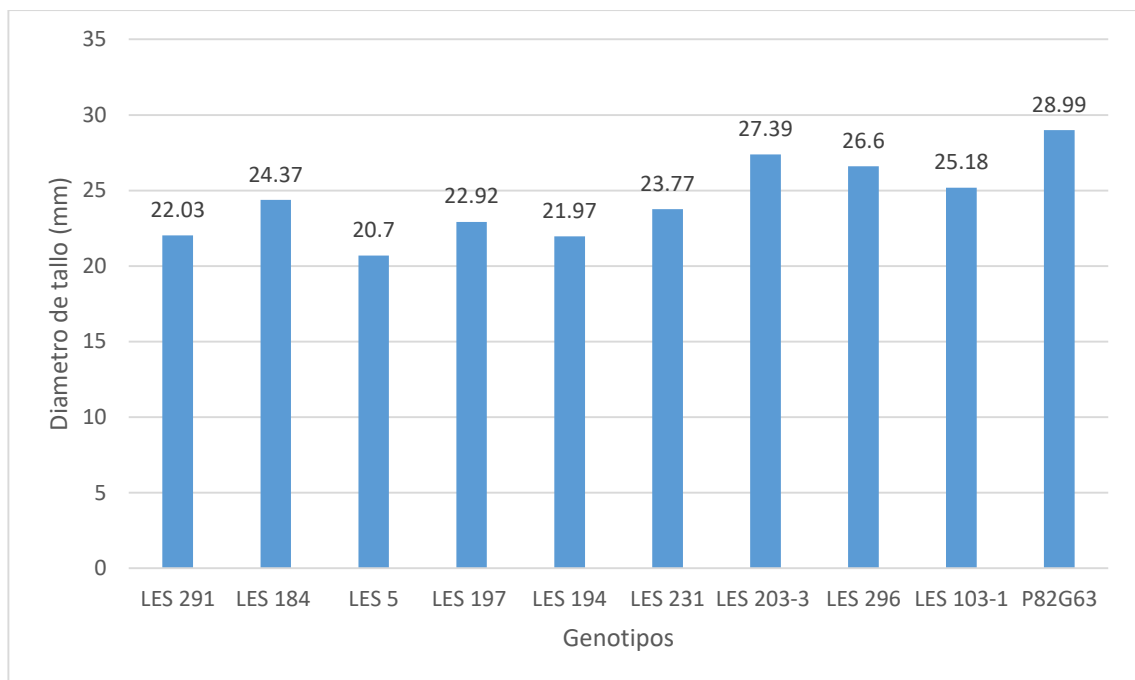
#### **4.6. Diámetro de tallo**

De acuerdo al análisis de varianza (cuadro 4), no se mostró un efecto estadístico significativo de los tratamientos con respecto al diámetro de tallo, debido a que las plantas se mantuvieron bastante homogéneas. Lo anterior, debido a las condiciones de manejo agronómico, las cuales fueron iguales para todo el lote experimental con el objetivo de disminuir el efecto del error experimental.

Una planta que cuenta con una excelente asimilación de micronutrientes y macronutrientes, ya sean aportados de manera directa a través de la fertilización mineral o de forma indirecta como el agua de riego que se aplica en conjunto con la luminosidad y condiciones ambientales como humedad relativa son causas que aumentan la fotosíntesis y con ello un mayor desarrollo del área vegetativa de las plantas (Cuesta y Machado, 2007).

Otro estudio enfocado a densidades de plantas en sorgo, muestra que para la variable diámetro de tallo, no se encontraron diferencias utilizando las densidades de 150,000 a 270,000 plantas/ha (Ponce, 2006).

En la Figura 11, para la variable diámetro de tallo (DT), se observa que el híbrido comercial P82G63 presentó el promedio más alto con 28.99 mm, el cual superó a la LES 203-3 que presentó un promedio de 27.39 mm; por otro lado, se encuentra el genotipo LES 5, que presentó el menor valor para la respectiva variable con 20.7 mm.



**Figura 11.** Comparación de medias, para la variable diámetro de tallo en (mm) de líneas experimentales de sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2018 en Saltillo, Coahuila.

#### 4.7. Incidencia de daño por aves

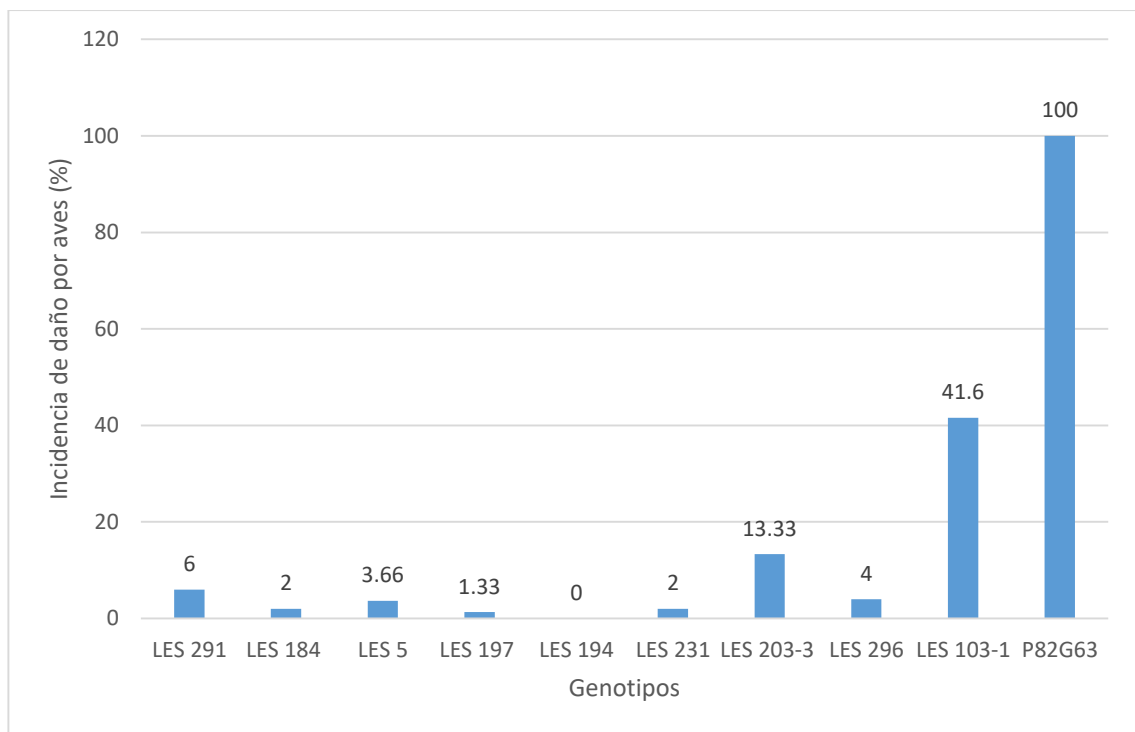
Los resultados obtenidos para la variable incidencia de daño por aves presenta diferencias altamente significativas entre tratamientos, debido a que dentro de los genotipos se encontraban algunos con características que los hacían menos atraídos para las aves como puede ser el contenido de taninos en el grano, así como el color del grano también se puede considerar. Además, en donde se estableció el experimento, no se contaba con ningún otro predio de sorgo cercano y en su contra parte se encontraba una zona con abundante presencia de aves.

Para este parámetro la incidencia del daño por aves puede atribuirse a él gran número de especies de aves que se sitúan en el lugar y a la época del año en la que nos encontramos (Bomford y Siclair 2002; Canavelli *et al.*, 2008).

Las aves pequeñas son las que principalmente consumen granos, entre los que destacan el sorgo, además de las palomas y cotorras que son aves de un tamaño mayor (Zaccagnini & Casani, 1986; Dardanelli *et al.*, 2011).

Existen genotipos que cuentan con cierto grado de resistencia al daño por aves estos son los sorgos con alto contenido de taninos que gracias a la astringencia que causan al ser devorados, lo que genera un sabor desagradable por parte de las aves, las cuales buscan otro tipo de sorgos con menos cantidad de taninos como pueden ser los de grano blanco (Price *et al.*, 1979; Magalhaes *et al.*, 1997).

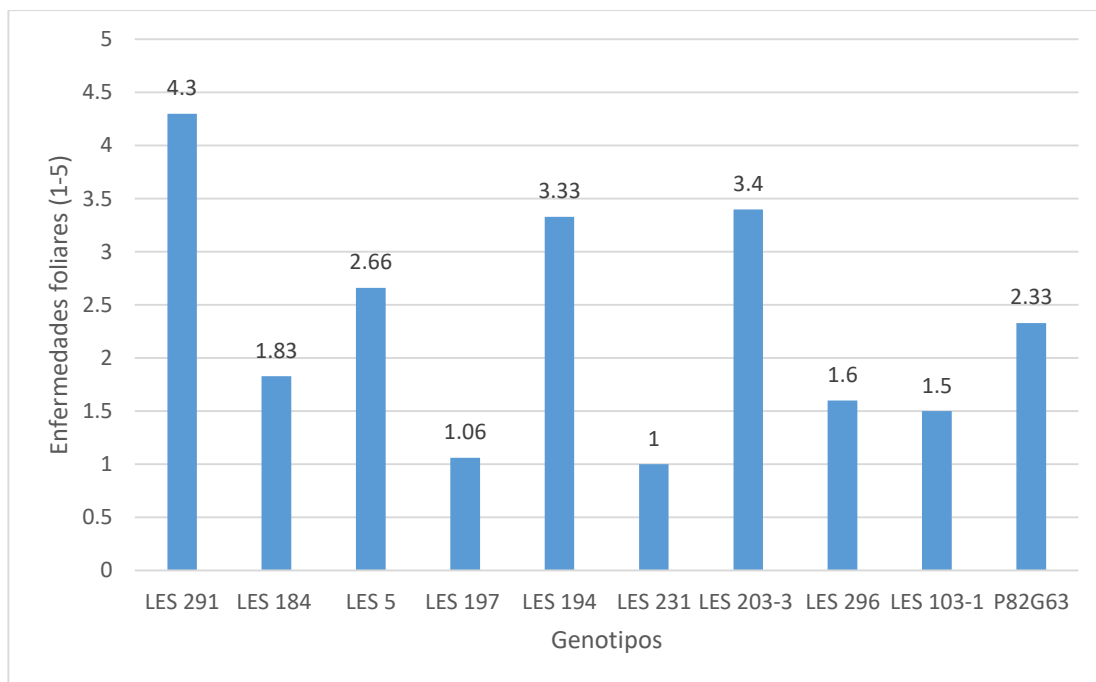
En la Figura 12, para la variable índice de daño por aves (IDA), se muestra en la gráfica que la línea experimental de sorgo con denominación LES 194, fue la que presentó nula incidencia de daño por aves; por otro lado, se puede observar que el híbrido comercial P82G63, presentó mayor incidencia de daño por aves con el 100% de daño seguido por la LES 103-1 con un promedio de 41.6 % las líneas experimentales de sorgo LES 294 y LES 184 obtuvieron promedio de 2% de daño.



**Figura 12.** Comparación de medias, para la variable incidencia de daño por aves en (%) de líneas experimentales de sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2018 en Saltillo, Coahuila.

#### 4.8. Enfermedades foliares

En la Figura 13, para la variable enfermedades foliares (EF), se puede observar en la gráfica que la línea experimental de sorgo denominada LES 291, resultó superior a los otros genotipos evaluados con una mayor incidencia de enfermedades promedio de 4.3 (1-5), seguido por la línea experimental de sorgo LES 203-3 con un promedio de 3.4 (1-5); por otro lado, también se observa que la Línea 231 fue la que presentó el menor promedio para la variable enfermedades foliares en comparación con el híbrido comercial P82G63 que presentó 2.33 (1-5).



**Figura 13.** Comparación de medias, para la variable enfermedades foliares en (1-5) de líneas experimentales de sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2018 en Saltillo, Coahuila.

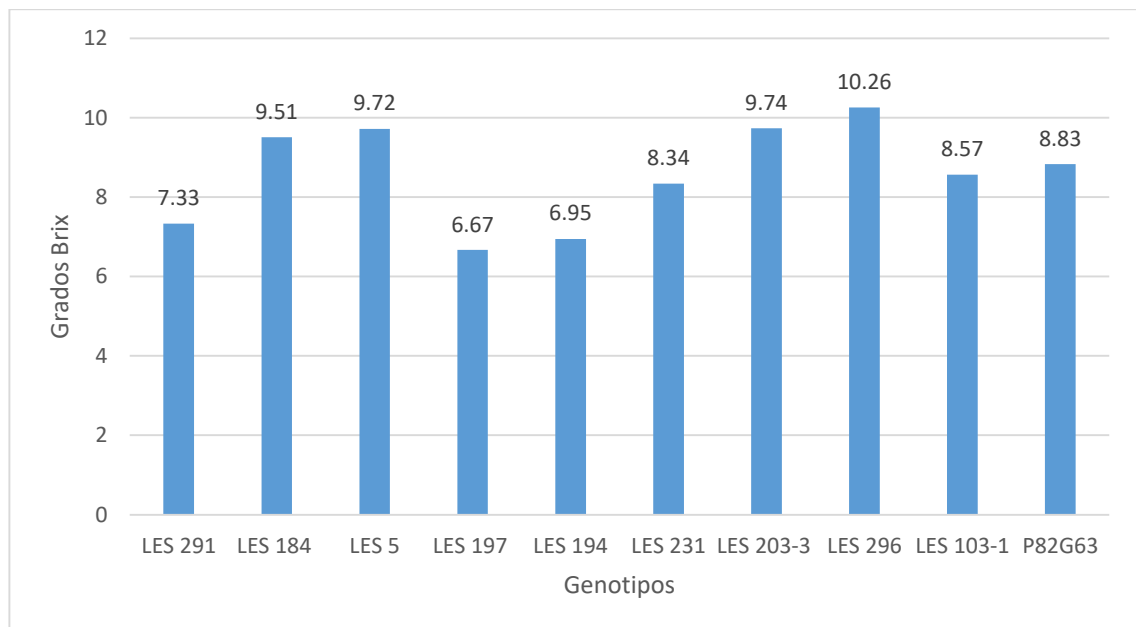
#### 4.9. Grados Brix

El contenido de azúcares solubles se concentra en la sabia o jugo de la planta también se le puede determinar como concentración de grados Brix, la cantidad de azúcares depende directamente de las condiciones ambientales las cuales interfieren en los distintos procesos fisiológicos de la planta, para los valores recopilados en este trabajo respecto al contenido de grados Brix se evaluaron en la etapa de madurez del grano, tal como lo recomienda Ferrari (1986).

Para la variable grados Brix (GB), los resultados se muestran en el Cuadro 5, se observó que existe un rango muy reducido donde los valores se encuentran de 6.68 – 10.27 grados, siendo la LES 203-3 la que presentó el mayor número de grados Brix.



En la Figura 14, para la variable grados Brix (GB), se muestra en la gráfica que la línea experimental de sorgo con denominación LES 10.26 grados, fue la que presentó mayor número de grados Brix con 10.26; por otro lado, se puede observar que la Línea LES 203-3, presentó un promedio de 9.74 grados y la línea experimental de sorgo denominada LES 197, fue la que presentó menor grados Brix con 6.67 mientras que el híbrido comercial P82G63 mostro un promedio de 8.83 grados para esta variable.



**Figura 14.** Comparación de medias para la variable grados Brix de líneas experimentales de sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2018 en Saltillo, Coahuila.

#### 4.10. Rendimiento de grano en gramos por planta

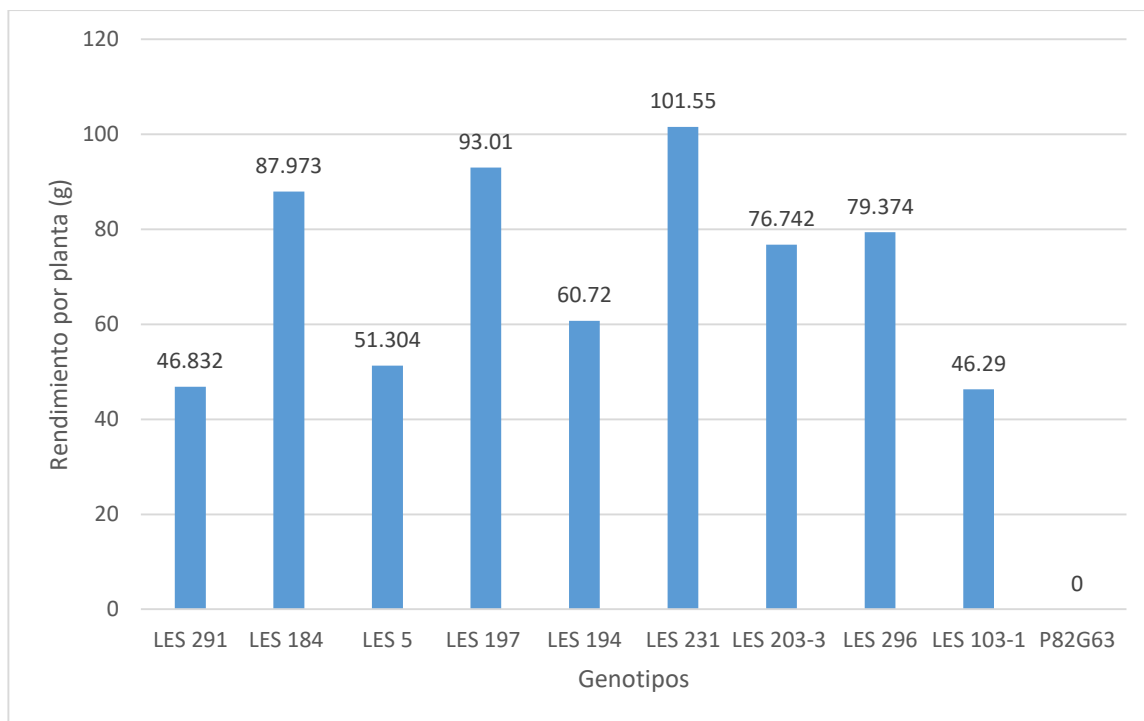
Para la variable rendimiento de grano se encontraron diferencias altamente significativas entre tratamientos, esto es debido a que el rendimiento es el resultado de un gran número de factores biológicos y ambientales que interactúan para definir la producción, como lo reportado por (Compton, 1985), uno de los factores a considerar es el tiempo en que tarda la planta a inducir

floración ya que los sorgos que tienden a ser tardíos, los que presentan más días a floración son los que presentan mayores rendimientos comparados con sorgos con un ciclo precoz o intermedio.

En los resultados evaluados para esta variable, se presentó un elevado coeficiente de variación de 19.48% (Cuadro 4), lo que nos indica que se encontraron diferencias altamente significativas entre tratamientos, esto debido a que cada genotipo expresa diferentes rendimientos como resultado de la interacción del ambiente con cada una de las líneas experimentales de sorgo evaluadas destacando que uno de los genotipos de sorgo, no obtuvo rendimiento por efecto del daño ocasionado por aves.

La capacidad que tiene la planta para el resguardo de materia seca y el papel fundamental del factor genético de los distintos genotipos son elementos importantes para definir el peso del grano, debido a que la masa de grano está en relación de la cantidad de materia seca que se produjo (Villeda, 2014)

En la Figura 15, para la variable rendimiento en gramos por planta (RGP) se observa que la línea experimental denominada LES 231, fue la que presentó el mayor valor promedio con 101.55 gramos por planta, seguido por la LES 197 que presentó un promedio de 93.01 gramos por planta; por otro lado, se encuentra que el híbrido comercial P82G63, no se logró obtener datos porque fue el genotipo con menor rendimiento, a su vez, la línea LES 291 presentó menor rendimiento con un promedio de 46.832 gramos por planta.



**Figura 15.** Comparación de medias, para la variable rendimiento de grano en gramos por planta de líneas experimentales de sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2018 en Saltillo, Coahuila.

#### 4.11. Color de grano

Para la evaluación del carácter cualitativo color de grano, se evaluó en forma visual en etapa de postcosecha en donde se identificaron las nueve líneas experimentales de sorgo evaluadas en donde se encontraron los siguientes colores, para la línea LES 291 el color de grano fue rojo oscuro, para la línea LES 184 el color de grano fue anaranjado rojizo, para la Línea LES 5 el color de grano fue rojo oscuro, para la Línea LES 197 el color de grano fue anaranjado rojizo, para la Línea LES 194 el color de grano fue anaranjado, para la Línea LES 231 el color de grano fue anaranjado, para la Línea LES 203-3 el color de grano fue gris oscuro, para la Línea LES 296 el color de grano fue café rojizo y para la Línea LES 103-1 el color de grano fue gris. Los diversos genotipos evaluados, debido a las condiciones del clima en el ambiente de evaluación, una línea presento problemas de intemperismo en el grano de sorgo, el cual es un problema importante para determinar el atributo de calidad física en la semilla.

## **V. CONCLUSIONES**

Con base en los resultados obtenidos, se concluye que la línea experimental de sorgo LES 231, fue la que presentó un comportamiento agronómico más aceptable bajo el manejo agronómico adecuado y las condiciones de la región sureste de Coahuila, de acuerdo a las variables agronómicas evaluadas como altura de planta (AP) longitud de panícula (LP), longitud de excursión (LE), ancho de hoja (AH), longitud de hoja (LH), incidencia de daño por aves (IDA), enfermedades foliares (EF), grados Brix (GB) y rendimiento de grano en gramos por planta (RGP).

De las nueve líneas experimentales de sorgo que se compararon con el híbrido comercial, bajo las mismas condiciones de manejo agronómico, se encontraron que cuatro líneas denominadas LES 231, LES 197, LES 194 y LES 184, presentaron un mejor comportamiento agronómico para las variables evaluadas lo que nos indica que son aptas para las condiciones del sureste de Coahuila y por lo tanto, presentan características ideales competitivas para la producción comparados con un híbrido comercial.

## VI. LITERATURA CITADA

- Alcala, L., 2003. Sistemas de producción de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) en el noreste de Tamulipas. Universidad Autonoma de Nuevo León.
- Argueta - Avelar E.M. 2002. Manual para la producción del Híbrido Sorgo Ganadero en Zamorano, Honduras Carrera De Ciencia Y Producción Agropecuaria.
- Arnon, E. 1972. Crop production in dry regions. Vol. II. Leonard Hall. 633 p.
- Bomford, M. y Sinclair R. 2002. Australian research on bird pest: impact, management and future directions. CSIRO Publishig. Emu. 102, 29 -45.
- Canavelli, S.; González, C.; CA- Vallero, P.; & Zaccagnini, M. 2008. Daño relativo por aves en cultivos de maíz y girasol del departamento Paraná y zonas aledañas. INTA EEA Paraná. Serie Extensión 51:59-67
- Carbajal, M., 2009. Análisis de la demanda de sorgo grano. Universidad Autónoma del estado de México.
- Compton L. Paul. 1990. Agronomía del sorgo. Trad Por. Paul Compton, M.G. López. El Salvador, C. A. Centro de Tecnología Agrícola (CENTA). 301p.
- CRISTIANI
- CONACYT, 2013. Fondo sectorial de investigación en materia agrícola, pecuaria, acuacultura.
- Cristianini, A. J. 1987. Instructivo: Cultivo de sorgo. Pág. 5
- Cuesta, T; Machado, P. 2009. Producción y evaluación de la calidad nutricional del forraje verde hidropónico (FVH) a base de maíz (*Zea mays*) como alternativa para la alimentación de pollos de engorde en la Estación Ambiental Tutunendo, Chocó, Colombia. 127 p
- Cureton, P., Fasano, A., 2009. In Gluten-free food science and technology.

- Dardanelli, S.; Canavelli S.; CA- Lamari N.; ZUIL S; Bernar- DOS J & Zaccagnini M. 2011. Bases para disminuir del daño por pa- lomas em cultivos extensivos. INTA EEA Paraná. Serie extensión N° 64
- Doggett, H. 1965. The development of cultivated Sorghum. Page 50 in Essays on crop plant evolution (Huchins, S.J.B., ed.). London, UK. Cambridge University Press.
- Google Earth, 2019. consultado en noviembre 2019 disponible en: <https://earth.google.com/web/@25.35918016,101.03848076,1732.22164898a,943.89095334d,35y,-58.79179349h,45.00000118t,-0r/data=KAE>
- FAOSTAT, 2017. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Consultado en noviembre 2019 disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Ferrari, R. 1986. A comparative analysis of the growth of sweet and forage Sorghum crops. Dry matter production, phenology and morphology. Australian Journal of Agricultural Research. 37: 495-512.
- FIRA, 2016. Programa agroalimentario. Sorgo 2016. p 35.
- Flores-Naveda, A., Romero-Martínez, A., Valdez L. C.G.S, Vázquez B. M.E. 2015. Producción de harina de sorgo y su uso en la elaboración de alimentos en México. Sociedad Mexicana de Agricultura Sustentable. Vol.10.
- Flores-Naveda, A., Valdés-Lozano, C.G., Zavala-García, F., Olivares-Saénz, E., Gutiérrez-Díez, A., Vázquez-Badillo, M.E., 2013. Comportamiento agronómico de líneas para la producción de semilla de sorgo. Agron. Mesoam. 24, 111. <https://doi.org/10.15517/am.v24i1.9646>
- Flores, N. A. 2012. Fundamentos para la producción de semilla de genotipos de sorgo para el noreste de México. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Hidalgo, J., 1997. Evaluacion del control quimico de cuatro malezas en sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench.), en el Valle del Zamorano.

- House, L.R., 1985. A guide to Sorghum breeding., Segunda ed. ed. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT). Patancheru, Andhra Pradesh, India.
- INATEC, 2017. Granos básicos. Boletín Estadístico Agropecu. N0 27. Ser. cronológica 2013-2016. 94.
- Kimber, C.T., 2000. Origins of domestication sorghum and Its early diffusion to India and China. Pages 3–98 in C. W. Smith and R. A. Frederiksen, eds., Sorghum: Origin, History, Technology, and Production. John Wiley & Sons Inc, New York.
- López, J. A., Galeato, A. J. 1982. Efecto de competencia en distintos estados de crecimiento en sorgo (*Sorghum vulgare*). Santa Fe, Argentina. Estación Experimental Regional Agropecuaria. 24 p.
- Magalhaes, P.; Rodrigues, A. & Duraes, M. 1997. Tanino no grão de sorgo. Bases fisiológicas e métodos de determinação. EMBRAPA. CNPMS. Circular Técnica N° 27. 26 p
- Márquez, S. F. 1973. Relationship between genotype-environmental interaction and stability parameters. Crop Sci. 13: 577-579.
- Martínez, F. 2002. Análisis de los sistemas de cultivo a base de sorgo para la construcción de un programa de Mejoramiento Genético Participativo en Madris, Nicaragua. Tesis de Master of Science. CNEARC. 156 p.
- Miller FR.; Barnes DK. 1980. Crecimiento y desarrollo del sorgo. En producción y Protección vegetal. Introducción al CIP. 135 p
- Miller, F.R. y Barnes, D.K. Crecimiento y desarrollo del sorgo. FAO Producción y Protección vegetal, 19: 7-19, 1980.
- 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.

- Price, M.; Stromberg, A. y Butles, L. 1979. Tannin content as a function of grain maturity and drying conditions in several varieties of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. J. Agric. Food Chem. 27: 1270-1274
- Poehlman, 2005. Mejoramiento genético de las cosechas. Editorial Limusa. 2da. Edición.
- Poehlman, CL: 1965. Desarrollo de tecnología con genotipo mejorados de sorgo para áreas marginales de los valles altos de México XXXI Reunión anual PCCMCA, San Pedro Sula, Honduras.
- Ponce Isaula, J.A. 2006. Producción y calidad de Sorgo Sureño con cinco densidades de siembra en Zamorano, Honduras. Tesis Ing. Agr., Tegucigalpa, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana "El Zamorano". 22p.
- Purseglove, J.W., 1972. (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). In: Tropical Crops. Monocotyledons. Longman Gr. Limited. 261–287.
- Quinby, J. R. 1974. Sorghum improvement and the genetics of growth. Texas A&M University. Press. College Station, Texas.
- Rao, NGP. 2002. Sorghum in evolution and adaptation of cereal crops. Sci. Pub. Inc. E. New. Hampshire. USA. p. 214-238.
- Rebollar, R. S., Hernández, M. J., González, R. F. J., García, M. A. 2016b. Efecto de una política de importaciones sobre el mercado del sorgo (*Sorghum vulgare Pers*) en México. Revista Mexicana de Agronegocios. 38: 229-240. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14146082004>.
- Sanchez, R. L. and Smeltzer, D.G., 1965. Sorghum pollen viability. Crop Science. Crop Sci. 5:111-113.
- Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (SAGARPA) 2017. Planeación agrícola nacional del sorgo para grano.



Schertz, K.F., Dalton, L.G., 1980. Sorghum in Hybridization of crop plants. Crop Sci. Soc. Am. 577–588.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2018. Producción nacional de sorgo para grano. Consultado en noviembre 2019. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado>

Somarriba R., C. 1997. Texto: Granos Básicos. Universidad Nacional Agraria (UNA). Managua, Nicaragua. 197 p.

Steel, R. G. D. and J. Torrie. 1993. Comparaciones múltiples. En Bioestadística. Principios y Procedimientos. McGraw-Hill. Ed. Segunda edición. 622 p.

USDA, 2011. Gluten free whole grain sorghum. An excellent source of dietary fiber. URL National Nutrient Database for Standard Reference, Release 24. 2011. Item # 20648

Valdés, L. C. G. S., Gómez R. I. and Pedroza F. J. A. 1997. Practical use of heterosis in Sorghum x Sudangrass Hybrids. In: The genetics and exploitation of heterosis in crops. An International Symposium. CIMMYT. Book of Abstracts. p.96. 17-22 August 1997. Mexico City. Mexico.

Villeda, D.A. Caracterización morfoagronómica de 15 accesiones de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) con bajo contenido de lignina. Tesis de Maestría en Agricultura Sostenible. Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador, 99 p.

Zaccagnini, M. & Casani, G. 1986. Evaluación del daño por aves en distintos cultivares de sorgo granífero. Carpeta de información Técnica. A5:3p.

## VII. ANEXOS

**7.1. Anexo 1.** Croquis de campo del experimento de Evaluación del comportamiento agronómico de genotipos de sorgo para grano en el Sureste de Coahuila en el ciclo agrícola Primavera-Verano 2018, en Saltillo, Coahuila.

40	18	18	18	18	18	18	18	18	18	40
40	SORUYO	SORUYO	SORUYO	SORUYO	SORUYO	SORUYO	LES 103-3 <sup>30</sup>	LES 296 <sup>29</sup>	LES 103-3 <sup>28</sup>	40
40	LES 103-1 <sup>19</sup>	LES 197 <sup>20</sup>	LES 291 <sup>21</sup>	P82G63 <sup>22</sup>	LES 5 <sup>23</sup>	LES 184 <sup>24</sup>	LES 231 <sup>25</sup>	LES 197 <sup>26</sup>	LES 194 <sup>27</sup>	40
40	LES 231 <sup>18</sup>	LES 194 <sup>17</sup>	LES 5 <sup>16</sup>	LES 203-3 <sup>15</sup>	LES 296 <sup>14</sup>	LES 184 <sup>13</sup>	P82G63 <sup>12</sup>	LES 291 <sup>11</sup>	P82G63 <sup>10</sup>	40
40	LES 291 <sup>1</sup>	LES 184 <sup>2</sup>	LES 5 <sup>3</sup>	LES 197 <sup>4</sup>	LES 194 <sup>5</sup>	LES 231 <sup>6</sup>	LES 203-3 <sup>7</sup>	LES 296 <sup>8</sup>	LES 103-1 <sup>9</sup>	40
40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11

**7.2. Anexo 2.** Establecimiento de las parcelas experimentales de sorgo en el ciclo agrícola Primavera-Verano 2018, en Saltillo, Coahuila.



**7.3. Anexo 3.** Aplicación del primer riego de auxilio a parcelas experimentales de sorgo en el ciclo agrícola Primavera-Verano 2018, en Saltillo, Coahuila.



**7.4. Anexo 4.** Inicio de etapa reproductiva 50 – 60 días de establecido el cultivo de sorgo en el ciclo agrícola Primavera-Verano 2018, en Saltillo, Coahuila.



**7.5. Anexo 5.** Cosecha de las parcelas experimentales de sorgo a los 154 días de establecido el cultivo en el ciclo agrícola Primavera-Verano 2018, en Saltillo, Coahuila.

