

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Evaluación del Comportamiento Agronómico y el Potencial de Rendimiento de Genotipos de Sorgo (*Sorghum bicolor* L.) para Grano

Por:

**RAÚL ORLANDO NÁJERA VELASCO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Saltillo, Coahuila, México

Febrero, 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Evaluación del Comportamiento Agronómico y el Potencial de Rendimiento de  
Genotipos de Sorgo (*Sorghum bicolor* L.) para Grano

Por:

**RAÚL ORLANDO NÁJERA VELASCO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



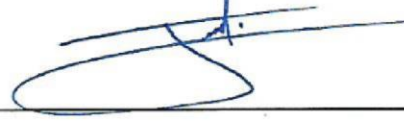
Dr. Antonio Flores Naveda  
Asesor Principal Interno



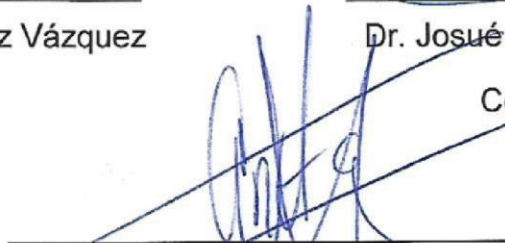
Dr. David Sánchez Aspeytia  
Asesor Principal Externo



Dr. Perpetuo Álvarez Vázquez  
Coasesor



Dr. Josué Israel García López  
Coasesor



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

Saltillo, Coahuila, México

Febrero, 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, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior, me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Raúl Orlando Nájera Velasco', written over a horizontal line.

Raúl Orlando Nájera Velasco

## AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, la casa de estudios que me arropó durante estos largos años de esfuerzo. Aquí dejo días de constancia y dedicación, a todos mis amigos que se volvieron mi familia y a mis profesores. Hoy finalizó esta etapa de formación e inició una nueva. Gracias por permitirme ser parte de ti, mi Alma Mater.

Con especial agradecimiento, respeto y admiración al **Dr. Antonio Flores Naveda** por ser un ejemplo a seguir, por su valiosa amistad, darme la oportunidad de formar parte de su equipo de trabajo y haberme apoyado incondicionalmente en todo momento. Así como también, por todos los conocimientos impartidos en el aula de clases.

A mis sinodales **Dr. David Sánchez Aspeytia, Dr. Perpetuo Álvarez Vázquez y Dr. Josué Israel García López**, les agradezco por su participación en el comité de asesoría, aportaciones y sugerencias realizadas al presente trabajo de investigación de Tesis.

A la **Dra. Susana Gómez Martínez** por su apoyo incondicional en mi formación académica y por todos sus consejos. Gracias, por haberme aceptado en su equipo de trabajo del proyecto de zacate buffel y por todos los conocimientos impartidos en el aula de clases.

A mis maestros **Lic. María del Socorro, Dra. Diana Jasso Cantú, Dr. Francisco Javier Sánchez Ramírez y M.C. Martha Gómez Martínez**. Por su valiosa amistad, por todos los conocimientos impartidos en el aula de clases y ser una inspiración, para lograr mis metas y ser una persona de provecho.

A mis amigos, sin excluir a ninguno, mil gracias por todos los momentos que hemos pasado juntos y porque han estado conmigo siempre, jamás los olvidaré. En especial agradecimiento a mis amigos de Maestría y equipo de trabajo **M.C. Felicito Díaz Vázquez, M.C Isaí López Calderón, M.C. Rubén Lecona García, Sr. Lorenzo Villa Sandoval y Juan Daniel Rodríguez Baisabal**.

## **DEDICATORIA**

### **A Dios**

Primeramente, por darme la vida, haberme dado una hermosa familia, por guiarme en el camino correcto, porque nunca me ha abandonado y permitirme realizar esta meta que desde niño, había anhelado junto con mis seres queridos.

### **A mis padres**

A mis padres Matías Nájera Solórsano y María del Carmen Velasco Espinoza por ser los pilares fundamentales de lo que soy. En testimonio de gratitud ilimitada primeramente por haberme dado la vida, nunca dejarme solo, por todo su amor, por su sacrificio y siempre haberme dado palabras de aliento en los momentos difíciles de mi vida, gracias a todo esto hicieron posible que culminará mi carrera profesional.

### **A mis hermanos**

Rodrigo, Lupita, Belencita y Josué por su apoyo incondicional, por creer en mí. Gracias por su paciencia, gracias por preocuparse por su hermano mayor, pero, sobre todo, gracias por estar en este momento, tan importante de mi vida. Recuerden que siempre estaré para ustedes.

### **A mis abuelos**

Gracias Dios por permitirme conocer a mis abuelos José Nájera Guillen, María Mercedes Solórsano Méndez, Fausto Velasco Méndez y Catalina Espinoza Gonzales. Más que mis abuelos, fueron mis padres. Ellos me enseñaron muchas cosas vitales para la vida, y me encaminaron por el buen camino.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
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> .....	4
2.1. El cultivo de sorgo.....	4
2.2. Taxonomía del cultivo de sorgo .....	6
2.3. Botánica del sorgo.....	8
2.4. Crecimiento y desarrollo del sorgo.....	10
2.5. Principales países productores de sorgo a nivel mundial.....	12
2.6. Principales estados productores de sorgo a nivel nacional.....	14
2.7. Valor nutricional del sorgo.....	15
2.8. Mejoramiento de sorgo para grano .....	16
2.9. Incremento y mantenimiento de líneas experimentales de sorgo .....	17
2.10. Producción de semilla de sorgo .....	18
2.11. Requerimientos edafoclimáticos .....	19
2.11.1 Temperatura.....	19
2.11.2 Agua .....	20
2.11.3 Suelo .....	20
2.11.4 Altitud .....	21
2.11.5 Humedad del suelo.....	21
2.12. Preparación del terreno.....	21
2.13. Fecha y densidad de siembra .....	22

2.14. Principales plagas .....	22
2.14.1 Gusano cogollero ( <i>Spodoptera frugiperda</i> ) .....	22
2.14.2 Gusano soldado ( <i>Spodoptera exigua</i> ) .....	24
2.14.3 Pulgón amarillo ( <i>Melanaphis sacchari</i> ) .....	25
2.15. Principales enfermedades .....	27
2.15.1 Ergot del sorgo ( <i>Claviceps africana</i> ) .....	27
2.15.2 Antracnosis ( <i>Colletotrichum graminicola</i> ) .....	28
2.15.3 Roya común ( <i>Puccinia purpurea</i> ) .....	29
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>31</b>
3.1. Localización del sitio experimental .....	31
3.2. Germoplasma utilizado .....	31
3.3. Tratamientos .....	32
3.4. Diseño experimental .....	32
3.5. Manejo agronómico .....	33
3.6. Siembra y densidad .....	34
3.7. Fertilización .....	34
3.8. Control de malezas .....	34
3.9. Control de plagas y enfermedades .....	34
3.10. Cosecha .....	35
3.11. Trilla de la semilla .....	35
3.12. Variables evaluadas .....	35
3.12.1 Días a floración .....	35
3.12.2 Altura de planta .....	36
3.12.3 Longitud de exersión .....	36
3.12.4 Longitud de panícula .....	36

3.12.5 Longitud de hoja .....	36
3.12.6 Ancho de hoja .....	36
3.12.7 Diámetro de tallo .....	36
3.12.8 Incidencia de daño por aves.....	37
3.12.9 Incidencia de enfermedades foliares .....	37
3.12.10 Grados brix.....	37
3.12.11 Rendimiento de grano en gramos por planta .....	37
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>38</b>
4.1. Días a floración .....	38
4.2. Altura de planta .....	46
4.3. Longitud de exersión .....	48
4.4. Longitud de panícula.....	50
4.5. Longitud de hoja.....	52
4.6. Ancho de hoja .....	54
4.7. Diámetro de tallo .....	56
4.8. Incidencia de daño por aves .....	58
4.9. Incidencia de enfermedades foliares.....	60
4.10. Grados brix.....	62
4.11. Rendimiento de grano en gramos por planta .....	64
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>66</b>
<b>VI. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>67</b>
<b>VII. ANEXOS .....</b>	<b>76</b>



## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Clasificación taxonómica del cultivo de sorgo.....	7
<b>Cuadro 2.</b> Características de las etapas de crecimiento del sorgo.....	11
<b>Cuadro 3.</b> Valor nutricional del sorgo por 100 g (3.5 oz.) .....	16
<b>Cuadro 4.</b> Requerimientos de agua para el cultivo del sorgo. ....	20
<b>Cuadro 5.</b> Genotipos de sorgo utilizados en el trabajo de investigación. ....	32
<b>Cuadro 6.</b> Análisis de varianza de variables agronómicas en Líneas Experimentales de Sorgo evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2019 en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila.....	40
<b>Cuadro 7.</b> Promedios de las variables agronómicas en Líneas Experimentales de Sorgo evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2019 en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila. ....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Principales regiones del mundo donde se cultiva el sorgo. ....	5
<b>Figura 2.</b> Descripción botánica de la planta de sorgo. ....	8
<b>Figura 3.</b> Etapas fenológicas de la planta de sorgo. ....	10
<b>Figura 4.</b> Producción mundial de sorgo, 2008/2009 - 2018/2019 (Millones de toneladas).....	12
<b>Figura 5.</b> Principales países productores de sorgo, 2016/2017 - 2018/2019 (Millones de toneladas); (FIRA, 2019).....	13
<b>Figura 6.</b> Principales estados productores de sorgo en México. ....	15
<b>Figura 7.</b> Gusano cogollero ( <i>Spodoptera frugiperda</i> ). ....	23
<b>Figura 8.</b> Gusano soldado ( <i>Spodoptera exigua</i> ). ....	25
<b>Figura 9.</b> Pulgón amarillo en el sitio experimental de la UAAAN. ....	26
<b>Figura 10.</b> Daños causados por ergot del sorgo.....	27
<b>Figura 11.</b> Daños causados por antracnosis. ....	28
<b>Figura 12.</b> Daños de roya común en sorgo.....	30
<b>Figura 13.</b> Comparación de medias, para la variable días a floración (días) de Líneas Experimentales de Sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2019 en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila. ....	39
<b>Figura 14.</b> Comparación de medias, para la variable altura de planta (cm) de Líneas Experimentales de Sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2019 en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila. ....	47
<b>Figura 15.</b> Comparación de medias, para la variable longitud de exersión (cm) de Líneas Experimentales de Sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2019 en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila. ....	49

<b>Figura 16.</b> Comparación de medias, para la variable longitud de panícula (cm) de Líneas Experimentales de Sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2019 en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila. ....	51
<b>Figura 17.</b> Comparación de medias, para la variable longitud de hoja (cm) de Líneas Experimentales de Sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2019 en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila. ....	53
<b>Figura 18.</b> Comparación de medias, para la variable ancho de hoja (cm) de Líneas Experimentales de Sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2019 en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila.....	55
<b>Figura 19.</b> Comparación de medias, para la variable diámetro de tallo (mm) de Líneas Experimentales de Sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2019 en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila. ....	57
<b>Figura 20.</b> Comparación de medias, para la variable índice de daño por aves (%) de Líneas Experimentales de Sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2019 en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila. ....	59
<b>Figura 21.</b> Comparación de medias, para la variable incidencia de enfermedades foliares (1-5) de Líneas Experimentales de Sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2019 en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila. ....	61
<b>Figura 22.</b> Comparación de medias, para la variable grados brix de Líneas Experimentales de Sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2019 en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila.....	63
<b>Figura 23.</b> Comparación de medias, para la variable rendimiento de grano en gramos por planta (g) de Líneas Experimentales de Sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2019 en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila. ....	65

## RESUMEN

El sorgo (*Sorghum bicolor* L.) es un cereal ancestral, por lo tanto, se cultiva en diversas partes del mundo, ya que presenta capacidad de adaptación a las regiones áridas y semiáridas, debido a que la planta presenta mecanismos de resistencia a calor y sequía. La producción de sorgo para grano en México, es de gran importancia, debido a su uso como materia prima para la elaboración de alimentos balanceados para consumo animal y en menor proporción en la producción de harina para consumo humano.

El presente trabajo de investigación se planteó con el objetivo de evaluar el comportamiento agronómico y potencial de rendimiento de Líneas Experimentales de Sorgo en la región sureste de Coahuila. Las variables evaluadas fueron: Días a floración, altura de planta, longitud de exersión, longitud de panícula, longitud de hoja, ancho de hoja, diámetro de tallo, incidencia de daño por aves, incidencia de enfermedades foliares, grados brix y rendimiento de grano en gramos por planta. El experimento se estableció durante el ciclo agrícola primavera-verano 2019, bajo condiciones de campo abierto en el Campo Experimental Buenavista de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Saltillo, Coahuila.

Se evaluaron 33 genotipos de sorgo y un híbrido comercial, utilizado como testigo, con tres repeticiones por tratamiento para un total de 102 parcelas experimentales, bajo un diseño de bloques completos al azar. Para el análisis estadístico de las variables, se utilizó el paquete estadístico SAS Institute y una prueba de comparación de medias por Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

Los resultados obtenidos muestran que la línea experimental con denominación LES-483 fue la que presentó mayor rendimiento de grano, seguida de la línea experimental LES-486. En conclusión, estas dos líneas fueron las que presentaron un mejor comportamiento agronómico y un buen potencial de rendimiento de grano en la región sureste de Coahuila.

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

## I. INTRODUCCIÓN

La necesidad mundial de aumentar de manera sostenible la producción de cereales como una alternativa para contribuir a la seguridad alimentaria y cubrir las necesidades crecientes de los pueblos, ha propiciado que los productores busquen mayores rendimientos en las diversas regiones agrícolas, utilizando especies que se adapten a condiciones y ambientes específicos (Pérez *et al.*, 2010).

Según Pérez *et al.*, (2010), para el año 2050, habrá una necesidad de granos de 450 mil toneladas anuales, lo que equivale a un déficit de 220kg por hectárea, por lo tanto, es necesario elaborar estrategias encaminadas a obtener una producción con altos rendimientos. A su vez, la producción de alimentos es uno de los retos que se enfrenta a todos los niveles, para el desarrollo agrícola y ganadero, por lo que es necesario la aplicación de alternativas, a partir de uso y producción de cultivos temporales, por las ventajas agrícolas y nutricionales que estos poseen.

Uno de los cultivos que más se destaca para su uso como fuente de alimento económico y sostenible es el sorgo, ya que puede contribuir como una opción favorable para la agricultura, al resistir condiciones extremas de sequía, dado entre otros aspectos a su sistema radical muy desarrollado y fibroso. También por sus características nutricionales, pueden formar parte como componente energético de la dieta y representar entre el 60 y 75 % de ésta (Acosta *et al.*, 2018).

El sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) presenta buena adaptabilidad y rendimientos aceptables, por lo que se le ha denominado el cereal del siglo XXI. A nivel mundial, a principio de los sesenta una gran producción de sorgo se empleaba directamente en la alimentación humana; mientras que en la actualidad la utilización de sorgo para el consumo animal, se ha duplicado (Rodríguez *et al.*, 2006).

El cultivo de sorgo, es una especie vegetal originaria de África, específicamente de Etiopía y Sudán. Se trata de un cereal reconocido como altamente productivo, resistente a la sequía; el cual provee a la humanidad alimento, forraje, fibra y energía, particularmente en las regiones semiáridas (Kimber *et al.*, 2013). Es una gramínea tropical de metabolismo tipo C4, que a través del mejoramiento genético se ha difundido a las regiones templadas del mundo y se ha establecido como un cultivo de gran adaptación ambiental (Blum, 2004).

Según Bond *et al.*, (2015), algunos genotipos de sorgo dulce, pueden aprovecharse para obtener combustible, como el etanol y en algunos lugares se usa en la producción de bebidas alcohólicas. Es el quinto cereal en el mundo, por su producción y superficie cosechada; se emplea como alimento para el ganado y se considera como un sustituto del maíz, aunque usualmente es catalogado como de menor calidad.

El sorgo es una gramínea de origen tropical que ha sido adaptada, a través del mejoramiento genético, a una gran diversidad de ambientes, siendo considerado uno de los cultivos mundiales de seguridad alimentaria. Además, el sorgo está provisto de una estrategia de latencia que le permite suspender el crecimiento hasta que se restablezcan nuevamente las condiciones favorables. Por otro lado, son muy variados sus posibles usos para la alimentación del ganado, pudiendo ser utilizado como verdeo, bajo sistemas de pastoreo directo y como reservas en forma de silo de grano húmedo y de planta entera o como concentrado (INTA, 2011).

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 animal, por la característica de ser un 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 bioactivos de interés los cuales son básicos para la alimentación humana y animal en proporciones comparables con otros cereales de grano de pequeño (Cureton y Fasano, 2009).

Por lo anterior, se realizó el presente trabajo de investigación, con el objetivo de evaluar el comportamiento agronómico y el potencial de rendimiento de genotipos de sorgo para grano.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo general**

Evaluar variables agronómicas y rendimiento de grano en líneas experimentales de sorgo, bajo las condiciones ambientales de la región sureste de Coahuila.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

Evaluar el comportamiento agronómico de 33 genotipos de sorgo y un híbrido en la región Sureste de Coahuila.

Caracterizar variables agronómicas en genotipos de sorgo y determinar su potencial productivo.

## **1.2. Hipótesis**

Hi: La evaluación de variables agronómicas en genotipos de sorgo para grano, permitirá estimar su potencial de rendimiento y capacidad de adaptación al ambiente evaluado.

Ho: Las variables agronómicas evaluadas en esta investigación, no permiten determinar la capacidad de adaptación de los genotipos de sorgo en el ambiente de evaluación.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. El cultivo de sorgo

El sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) es uno de los cultivos más antiguos y actualmente uno de los cereales de mayor importancia en el mundo (Serna-Saldívar, 2010). Es muy eficiente en ambientes cálidos y con intensidad luminosa alta, como los prevalecientes en regiones semiáridas (Rooney y Serna-Saldívar, 2000). De acuerdo con Taylor *et al.*, (2006), es el mejor cereal en términos de resistencia a la sequía.

De acuerdo a Serna-Saldívar (2010) estas podrían ser las "plantas del futuro" debido a que cada vez es más escasa el agua disponible para riego y presenta un alto nivel de CO<sub>2</sub> en el ambiente.

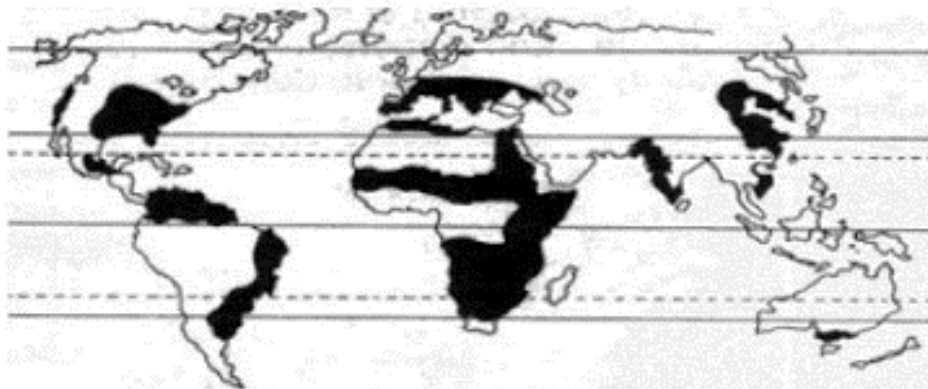
El sorgo es uno de los alimentos básicos para la población más pobre del mundo, que es también la que padece una situación de mayor inseguridad alimentaria. Desde el punto de vista genético, este cultivo se adapta bien a un entorno agroecológico cálido y seco en el que resulta difícil cultivar otros cereales alimentarios (FAO, 1997).

El sorgo es un cultivo que en algunas regiones del mundo está sustituyendo al cultivo de maíz, por su resistencia a enfermedades virosas, fungosas y poca demanda de agua. La importancia de este cultivo, ha aumentado considerablemente en los últimos años, debido a su utilización en la alimentación humana. En la industria de la panificación, la harina de sorgo está tomando auge, ya que se ha comprobado que puede sustituir hasta en un 50% a la de trigo, en las mezclas para la elaboración de pan, sin afectar la calidad de éste (CENTA, 2007).

Existe un gran número de variedades, las cuales pueden ser clasificadas en tres grandes grupos: sorgo grano, forrajero y dulce. Recientemente, se creó una nueva categoría de sorgo denominado de alta biomasa. Este sorgo, a diferencia del sorgo dulce y forrajero, está conceptualizado para producir altos rendimientos de biomasa fibrosa y ser principalmente canalizado a la producción de bioetanol de segunda generación (Blade, 2010).



Es probable que el sorgo sea originario del África Oriental (Etiopía, Sudán) en tiempos prehistóricos entre los años 5,000 y 7,000 a.C. El testimonio más antiguo se encuentra en una escultura del palacio del rey Senerequerib en Nínive, Asiría (actualmente Mosul, Iraq) posiblemente en el año 700 a. C. Al inicio, de la era cristiana se le conoció en la India y Europa. La máxima variación del género *Sorghum* se encuentra en la región nororiental de África (Etiopía y Sudán); (FAO, 1991).



**Figura 1.** Principales regiones del mundo donde se cultiva el sorgo.

Fuente: Caamal y Ávila, 2004.

Posiblemente, el sorgo se llevó a América Latina en el siglo XVI. Se introdujo desde el sudeste de Asia o la India, por tratantes de esclavos que provenían de África occidental o por navegantes que comercializaban entre Europa y América Latina. Es posible también que se introdujo desde África occidental y Australia alrededor del siglo XVI por comerciantes que seguían la ruta Europa-África-América Latina (A. L.); (Jambunathan y Subramaian, 1995).

## 2.2. Taxonomía del cultivo de sorgo

El género *Sorghum* Moench se caracteriza por presentar espiguillas que nacen en pares, una espiguilla bisexual fértil y sésil con una espiguilla pedicelada estéril u ocasionalmente de flores estaminadas. El género se subdivide en cinco secciones, la más importante es la sección *Sorghum*, que comprende tres especies:

- *Sorghum bicolor* (Linn.) Moench ( $2n = 2x = 20$ ). Comprende los sorgos anuales silvestres y domesticados.
- *Sorghum propinquum* (Kunth.), Hitchc (  $2n = 2x = 20$ ). Es una especie rizomatosa silvestre, perenne, diploide, de semillas pequeñas y duras que presenta polinización cruzada con *Sorghum bicolor* y *Sorghum halepense*.
- *Sorghum halepense* (Linn.) Pers., ( $2n = 4x = 40$ ). Es una especie rizomatosa, tetraploide y perenne que se conoce como pasto Johnson en EE.UU. Esta especie se ha convertido en una maleza importante (Poehlman, 2005).

Es una planta anual que pertenece a la familia de las gramíneas, subfamilia Andropogoneae, género *Sorghum*. Los primeros cultivadores, seleccionaron las plantas por su utilización; en el caso del sorgo de grano, se buscó la cantidad y calidad de sus granos, tamaño y fácil separación de la gluma (Martín, 1975).

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

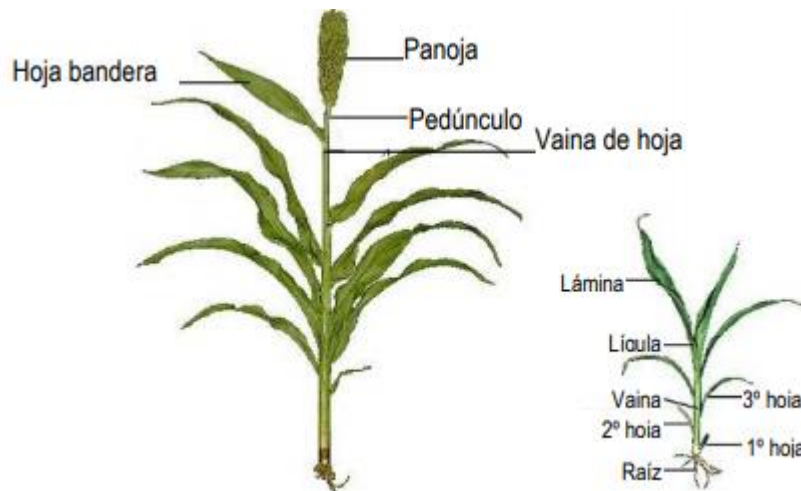
<b>Familia</b>	Poaceae
<b>Tribu</b>	Andropogoneae
<b>Subtribu</b>	Sorghinae
<b>Genero</b>	<i>Sorghum</i> Moench
<b>Subgénero</b>	<i>Sorghum</i> <i>Chaetosorghum</i> <i>Heterosorghum</i> <i>Parasorghum</i> <i>Stiposorghum</i>
<b>Especie del subgénero</b>	<i>Sorghum</i> <i>Sorghumpropinquum</i> <i>Sorghum 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>	Bicolor Guinea Durra Kafir Caudatum

Fuente: Kimber, 2000.

### 2.3. Botánica del sorgo

El sorgo es una planta C4 diploide autopolinizado ( $2n = 2x = 20$ ) con una alta eficiencia fotosintética. Su pequeño tamaño de genoma (730 Mbp, aproximadamente un 25% del tamaño del maíz o la caña de azúcar) está completamente secuenciado y hace del sorgo un modelo atractivo, para la genómica funcional de las gramíneas C4.

El cultivo cuenta con una amplia gama de diversidad genética que se expresa de diversas formas, desde una variedad de formas, tamaños y colores de panículas, hasta diversos grados de utilidad como cultivo de doble propósito, para la alimentación humana y forrajes para el ganado (ICRISAT, 2020).



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

Adaptado de Vanderlip, 1993.

## **Raíz**

Su sistema radicular es abundante y muy desarrollado, puede alcanzar profundidades hasta 1.50 metros, lo cual le permite extraer agua y nutrientes de capas más profundas del suelo, por esto se adapta a tierras áridas.

## **Tallo**

Generalmente, son resistentes recubiertos de una cera de color blanco. Su altura oscila entre 1 y 1.8 m; de acuerdo a esta podemos clasificar los sorgos en bajos, medianos y altos.

## **Hojas**

Son alternas y lanceoladas o linear-lanceoladas, con una superficie lisa y cerosa, de 0.50 a 1 m de largas y de 5 a 12 cm de anchas. El número de hojas activas por planta, oscila entre 6 y 10.

## **Flores**

Son hermafroditas, el polen del sorgo pierde su viabilidad rápidamente.

## **Panícula**

Esta puede ser cerrada, semiabierta o abierta; el largo puede estar entre los 20 y los 35 cm. La excursión varía de 0 a 30 cm.

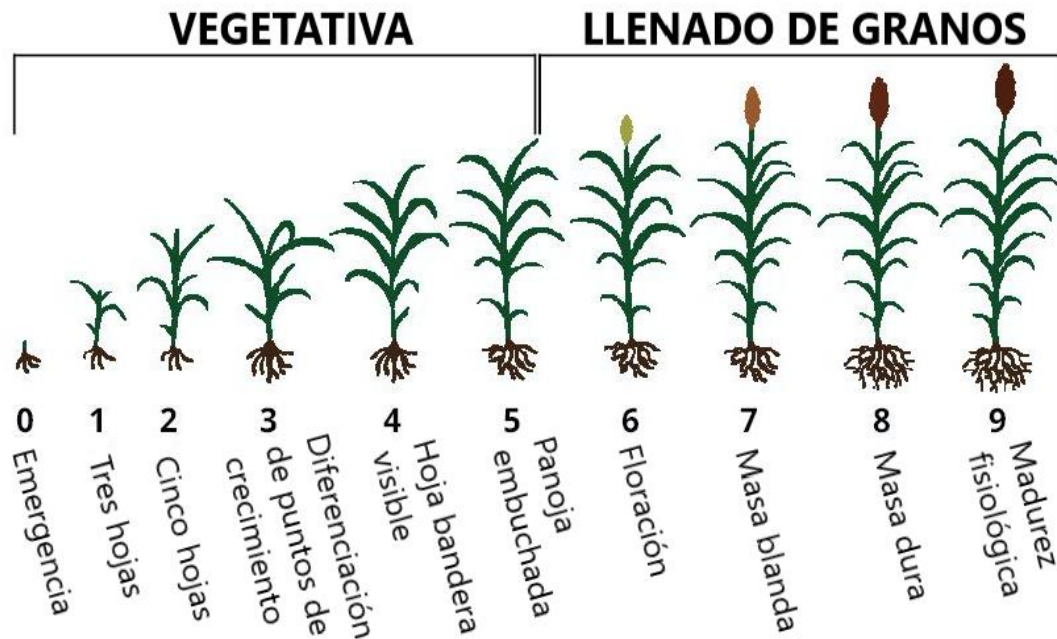
## **Semilla**

La semilla de sorgo tiene una longitud de 3 mm, son esféricas y oblongas con diferentes coloraciones en la testa o cubierta, su período a madurez fisiológica final puede ser a 120 días después de siembra.

## **Pigmentación de la testa**

Puede ser pequeños, medianos o grandes, su coloración puede ser café rojizo, naranja, amarillo, bronceado, crema, blanco y negro (SENA, 1990).

## 2.4. Crecimiento y desarrollo del sorgo



**Figura 3.** Etapas fenológicas de la planta de sorgo.

Fuente: United Sorghum Checkoff Program, 2016.

Reconocer las etapas clave del desarrollo del sorgo, puede ayudar a tomar decisiones críticas de su manejo agronómico. Las etapas se basan en las estructuras del sorgo a medida que se desarrollan durante la vida de la planta.

Una planta de sorgo tiene 10 etapas de crecimiento y desarrollo (Cuadro 2), comenzando con la emergencia (etapa 0) y terminando con la madurez fisiológica final del grano (etapa 9).

Durante la etapa vegetativa de una planta de sorgo, el número de hojas se usa a menudo para determinar la etapa fenológica de la planta. Las hojas de sorgo en grano se numeran contando las hojas completamente expandidas que tienen un collar desarrollado.

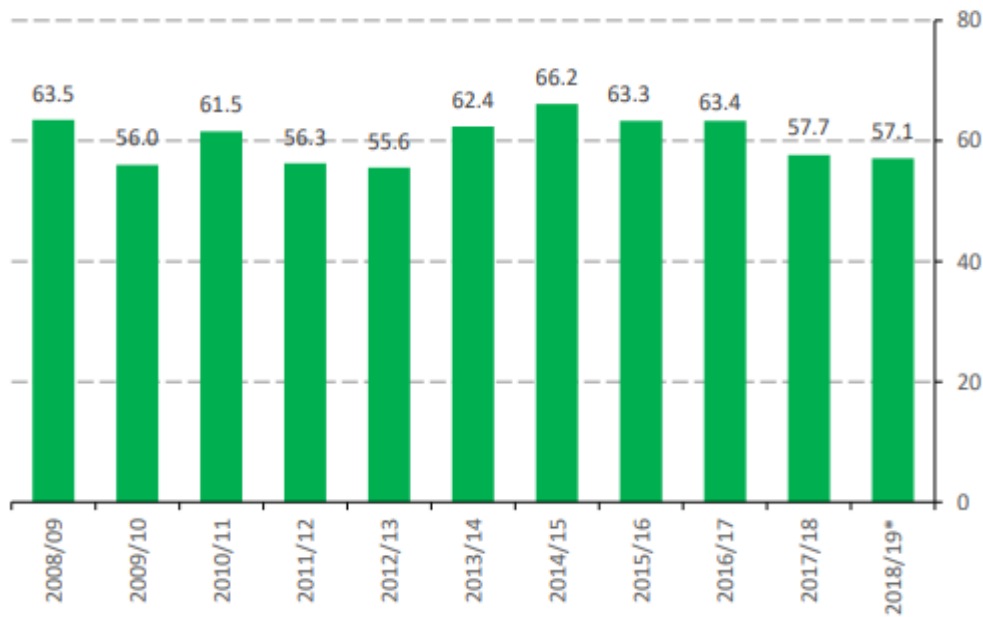
**Cuadro 2.** Características de las etapas de crecimiento del sorgo.

Etapas de crecimiento	Días después de la emergencia	Características
0	0	Emergencia: El Coleóptilo es visible en la superficie del suelo.
1	10	Etapas de 3 hojas: Es visible el cuello de la tercera hoja.
2	20	Etapas de 5 hojas: Es visible el cuello de la quinta hoja.
3	30	Diferenciación del crecimiento: De abajo, hacia arriba se ven ocho hojas completas.
4	40	Etapas de última hoja: Es visible en el verticilo la hoja bandera o última hoja.
5	50	Etapas de embuche: Panícula extendida en la vaina de la hoja bandera.
6	60	Media Floración: Panícula emitiendo polen.
7	70	Etapas de grano en estado lechoso.
8	85	Etapas de grano cuajado.
9	95	Etapas de madurez fisiológica.

Fuente: SENA, 1990.

## 2.5. Principales países productores de sorgo a nivel mundial

Con base en la información del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA), en el ciclo comercial 2017/2018 la producción mundial de sorgo se ubicó en 57.7 millones de toneladas (mdt), lo que representa un decremento de 9.0 por ciento a tasa anual. Durante el último lustro, la producción mundial del grano decreció a una tasa promedio anual de 2.0 por ciento (FIRA, 2019).

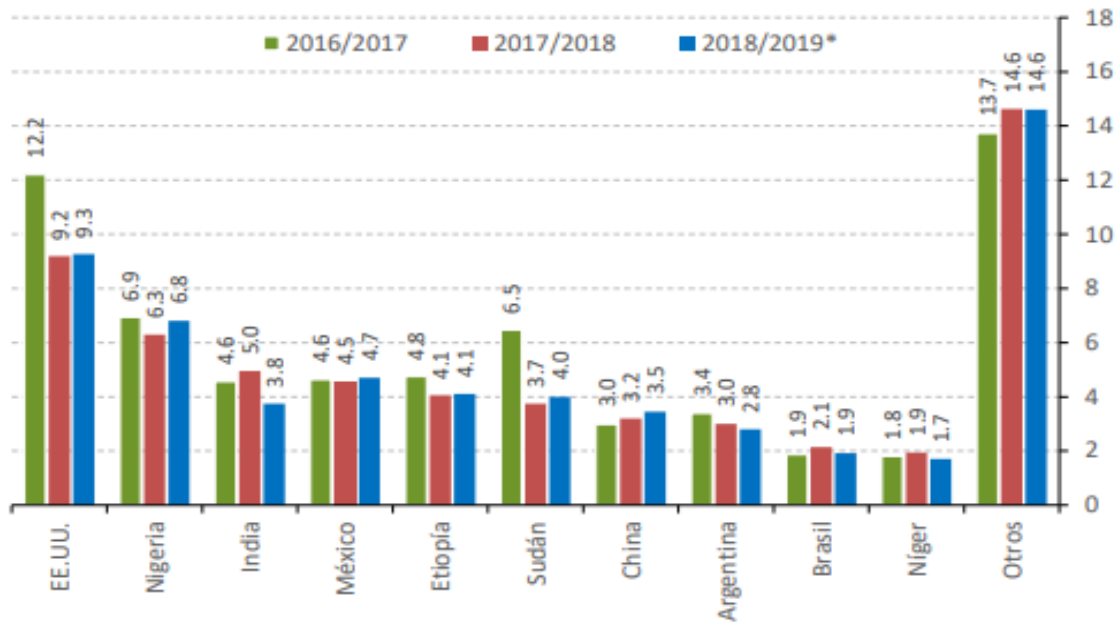


**Figura 4.** Producción mundial de sorgo, 2008/2009 - 2018/2019 (Millones de toneladas).

Fuente: USDA, 2019.

En el ciclo 2017/2018, los cinco principales países productores concentraron 50.3 por ciento de la producción mundial: Estados Unidos (15.9%), Nigeria (10.9%), India (8.6%), México (7.9%) y Etiopía (7.0%); (FIRA, 2019).





**Figura 5.** Principales países productores de sorgo, 2016/2017 - 2018/2019 (Millones de toneladas); (FIRA, 2019).

Fuente: USDA, 2019.

De este grupo de países productores, la producción creció en India (8.35 a tasa anual), mientras se redujo en Estados Unidos, Nigeria, México y Etiopía, a tasas anuales de 24.6, 9.2, 2.0 y 14.8 por ciento, respectivamente. El crecimiento en la producción en el país de India, fue favorecido por el incremento de 32.1% en el rendimiento promedio, ya que la superficie cosechada en ese país se redujo 17.6% durante los años 2017/2018.

También destaca el crecimiento de la producción en China (7.2%) y Brasil (14.5%) y los decrementos en Sudán (42%) y Argentina (11.8%); (FIRA, 2019).

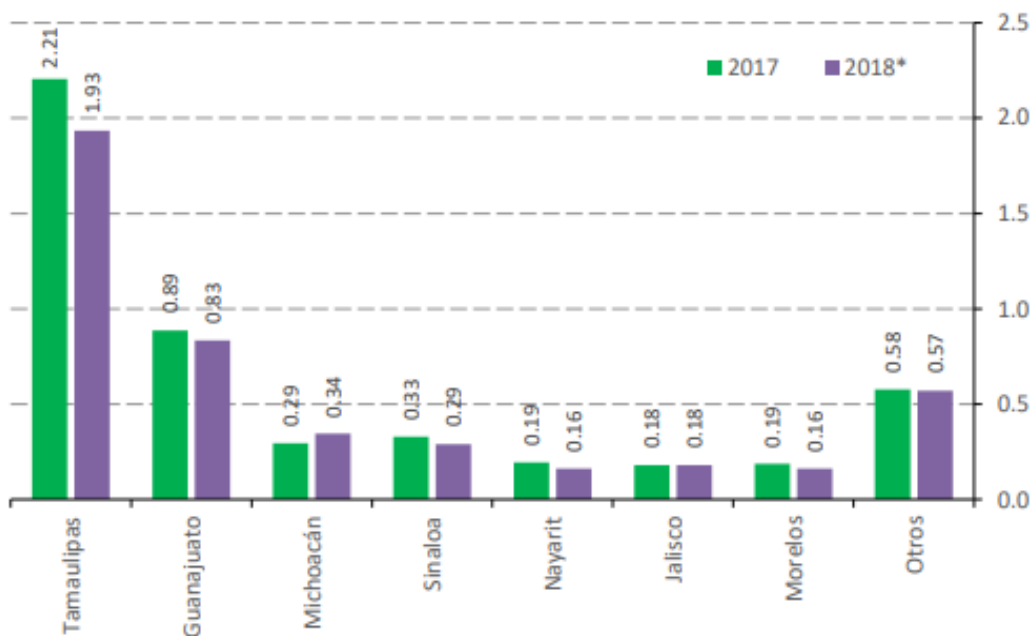
## **2.6. Principales estados productores de sorgo a nivel nacional**

La producción de sorgo para grano en México es de gran importancia, debido a su uso como materia prima para la elaboración de alimentos balanceados para consumo animal, ya que constituye uno de los principales ingredientes, y en menor proporción en la producción de harina de sorgo, para la elaboración de alimentos destinados para consumo humano (FAO, 2013).

El cultivo de sorgo ocupó el cuarto lugar por superficie cosechada, entre los cultivos cíclicos y perennes de mayor importancia en nuestro país en el año agrícola 2017, solo después del maíz grano, los pastos y el frijol. Participó con 6.7 por ciento de la superficie cosechada y 2.6 por ciento del valor de la producción agrícola nacional.

En México, según estadísticas del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural en relación a los avances de siembras y cosechas al 31 de diciembre del 2020, se contaba con una superficie sembrada de 1,475,162 hectáreas para la producción de sorgo grano, de las cuales un total de 26,415 hectáreas, han sido siniestradas, una superficie cosechada de 1,317,399 hectáreas y una producción obtenida de 4,309,407 toneladas con un rendimiento promedio a nivel nacional de 3.27 toneladas por hectárea, esto bajo la modalidad de riego más temporal (SIAP, 2022).

En el año 2018, siete entidades participaron con 87.3 por ciento de la producción nacional, destacando Tamaulipas (43.2%), Guanajuato (18.6%), Michoacán (7.7%), Sinaloa (6.5%), Jalisco (4.0%), Nayarit (3.6%) y Morelos (3.6%), respectivamente.



**Figura 6.** Principales estados productores de sorgo en México.

Fuente: SIAP-SADER, 2019.

Durante el año agrícola 2018, en México, 564 municipios produjeron sorgo. Los diez principales municipios productores participaron, en conjunto con 50.0 por ciento de la producción nacional. Los cinco principales municipios productores se ubican en el estado de Tamaulipas.

## 2.7. Valor nutricional del sorgo

El grano de sorgo contiene 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.

**Cuadro 3.** 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.

## **2.8. Mejoramiento de sorgo para grano**

En México en el Campo Experimental Río Bravo (CERIB) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), se estima que el avance obtenido en mejoramiento genético en un período de once años para condiciones de riego y buen temporal, fue de 1100 kg/ha (Williams *et al.*, 1995).

La investigación en mejoramiento genético de sorgo en el norte de México, por parte del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, INIA (hoy INIFAP); se inició en el Campo Experimental Río Bravo en 1974. Su ámbito, incluyó las regiones cálido-secas del país en los estados de Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila, Chihuahua, Sonora y Sinaloa (Williams *et al.*, 1995).

El proyecto de mejoramiento genético del cultivo de sorgo aplica dos metodologías:

Utiliza la selección genealógica (donde se toma en cuenta el origen y desarrollo evolutivo de la especie) para el mejoramiento de líneas, para lo cual se parte de una población heterogénea y mediante ciclos sucesivos en temporal y riego se llegan a obtener líneas con características agronómicas superiores y uniformidad.

Emplea el método de hibridación (fusión de dos células de distinto grupo para dar lugar a otra de características mixtas) para aprovechar la heterosis (cruza de dos líneas puras para obtener una descendencia superior) entre líneas androestériles A, cruzadas con líneas restauradoras R (plantas con las que se alimentan a las androestériles, es decir el polen de las restauradoras se lleva a las androestériles).

Los materiales experimentales formados, tanto de variedades de polinización libre como de híbridos, son evaluados en ensayos de rendimiento, bajo condiciones de temporal y riego. A su vez, se aplican como criterios de evaluación el rendimiento de grano, rendimiento de forraje, resistencia a enfermedades, calidad alimenticia de forraje y calidad de grano (FPS, 2008).

La introducción de sorgos de diferente origen genético es la base para iniciar un programa de selección por diferentes características agronómicas deseables.

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

La planta de sorgo es predominantemente autógena por lo tanto, presenta un promedio de cruzamiento del 4% aunque pueden ocurrir niveles significativos de cruce natural de un 10% de cruzamiento para panículas con forma compacta, por lo tanto, el cultivo está expuesto a perder la pureza original, debido a posible contaminación por otras fuentes de polen, por lo cual es necesario producir la semilla en lotes aislados, para mantener su pureza genética (Poehlman, 2005) y garantizar la calidad de la semilla (García y Guiragossian, 1985).

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 antesis 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).

La semilla es la portadora del potencial genético que determina la productividad y constituye el insumo más importante para alcanzar altos rendimientos en cualquier cultivo. Esta es el resultado de la fertilización, desarrollo y maduración del óvulo y está formada por testa, endospermo y embrión. 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 (Flores-Naveda *et al.*, 2013).

#### **2.10. Producción de semilla de sorgo**

El descubrimiento de la androesterilidad genética citoplásmica por Stephens y Holland, hizo posible la producción comercial de semilla híbrida. Los primeros híbridos desarrollados en EE.UU., se empezaron a utilizar en México a partir de 1958 (Williams *et al.*, 2006). En la actualidad, casi el 90% del sorgo cultivado es de semilla híbrida, donde se aprovecha su mayor potencial de producción.

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.

Para el desarrollo de híbridos de sorgo es necesaria la evaluación del comportamiento per se de las líneas, así como el de su actitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE); (Poehlman, 2005).

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 presente un aceptable vigor 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).

Las líneas R restauradoras deben presentar una gran producción y un mayor tiempo de producción del polen, para tener una polinización eficiente en el campo de producción de semilla y distribuir los arreglos de siembra 3:1; 4:2; 12:4 hembra-macho. Murty (1999) recomienda, para una adecuada producción de semilla híbrida de sorgo a escala comercial, la siembra de dos surcos machos alternados con cuatro surcos hembra, cuando la línea macho presenta panícula pequeña y floración corta, o dos surcos macho con seis surcos hembras, cuando la línea macho presenta panícula grande y floración prolongada.

## **2.11. Requerimientos edafoclimáticos**

### **2.11.1 Temperatura**

El sorgo se desarrolla en zonas tropicales y templadas siempre y cuando la temperatura promedio sea de 27°C y la mínima de 6°C, o que la máxima sea superior a los 37°C por su tolerancia a la sequía, puede desarrollarse en regiones con una precipitación media anual de 400 a 600 mm. Para la germinación, necesita una temperatura de suelo, no inferior a los 18°C. El crecimiento de la planta, no es verdaderamente activo, hasta que se sobrepasan los 15°C, situándose el óptimo hacia los 32°C.

Durante la floración requiere una temperatura mínima de 16°C, ya que por debajo de este nivel se puede producir esterilidad en las panículas y reducir el

rendimiento de grano. Por el contrario, resiste bien el calor, si el suelo es suficientemente fresco, no hay disminución en el rendimiento de grano.

### 2.11.2 Agua

El sorgo tolera mejor la sequía y el exceso de humedad en el suelo que la mayoría de los cereales y crece bien bajo una amplia gama de condiciones en el suelo. Responde favorablemente a la irrigación, requiriendo un mínimo de 250 mm durante su ciclo, con un óptimo comprendido entre los 400-550 mm (Forrateg, 2015).

**Cuadro 4.** Requerimientos de agua para el cultivo del sorgo.

Requerimiento en el ciclo	mm
Óptimo	400-550
Conveniente	350
Mínimo	250

Fuente: Forrateg, 2015.

Las mayores exigencias en agua comienzan unos 30 días después de emergencia y continúan, hasta el llenado de los granos, siendo las etapas más críticas la etapa reproductiva a inicio de floración, puesto que deficiencias hídricas en estos momentos producen mermas en el rendimiento de grano.

### 2.11.3 Suelo

El sorgo es bastante susceptible a deficiencia de hierro, zinc y manganeso; especialmente en suelos vertisoles con altos niveles de carbonato de calcio. Estas deficiencias, pueden ser observadas en los cultivos cuando la planta se pone clorótica o con manchas rojizas a lo largo de las hojas. Responde muy bien a una diversidad de suelos, aún con características adversas de fertilidad, textura, pendiente, pedregosidad y pH en un rango de 5.5-7.8.



#### **2.11.4 Altitud**

El sorgo puede cultivarse desde 0 a 1000 msnm, sin embargo, las mejores producciones se obtienen en zonas comprendidas de 0 a 500 msnm. En México, se ha llegado a cultivar hasta los 2200 msnm.

#### **2.11.5 Humedad del suelo**

Los sorgos fotoinsensitivos necesitan una mayor cantidad de humedad en el suelo para la polinización y llenado del grano; comparados con los fotosensitivos (criollos) que requieren una mínima reserva de humedad en el suelo para completar satisfactoriamente estas etapas de desarrollo. En general, el sorgo requiere de 550 mm de agua en todo el ciclo de cultivo y bien distribuidos, para una óptima producción (CENTA, 2007).

### **2.12. Preparación del terreno**

Es necesario realizar una buena preparación del terreno para obtener un alto rendimiento, con esta se logra una buena cama de siembra, mejor emergencia y desarrollo de las plantas. Además, ayuda a incorporar los residuos de la cosecha anterior, así como a eliminar las plagas y la maleza existentes. Actualmente, se contemplan dos maneras de preparar el suelo, la labranza tradicional y la labranza mínima.

#### **Labranza tradicional**

Se recomienda en terrenos de reciente incorporación a la agricultura o cuando se ha compactado el suelo, comprende las labores de barbecho con la finalidad de incorporar los residuos de la cosecha anterior, aflojar la capa arable, facilitar la aireación, así como reducir las plagas de la raíz y de la semilla. Después del barbecho se rastrea para que quede pulverizada la tierra y ya después se procede a sembrar y buscando que tenga un buen drenaje el agua de riego.

## **Labranza mínima**

Con esta labranza se reduce el número de labores, sin afectar el desarrollo del cultivo, se le puede dar un rastreo para eliminar malas hierbas y enseguida se procede a sembrar y una ventaja es que se reducen los costos de producción.

### **2.13. Fecha y densidad de siembra**

Para riego, el principal factor que se debe tomar en cuenta, para optimizar el rendimiento, costo de producción y rentabilidad en el cultivo, es la fecha de siembra. La fecha de siembra óptima para sorgo granífero es del 10 de enero al 10 de marzo, fuera de estas fechas se tienen problemas con mosca midge. Para temporal, se sugiere iniciar las siembras cuando se presenten las primeras lluvias, desde el 20 de julio hasta el 10 de agosto. No es recomendable sembrar en seco, esto por el problema de malezas (Félix, 2009).

En riego, se sugiere sembrar de 30 a 40 semillas por metro lineal, a una profundidad de 4 a 5 centímetros. Si, la siembra es en seco, se recomienda depositar la semilla a una profundidad de 3 centímetros para, así, asegurar una población de 319 mil a 425 mil plantas por hectárea, para obtener una buena producción de grano. En temporal, se recomienda utilizar 30 semillas por metro lineal, a una profundidad de 4 a 5 centímetros, para asegurar una población de 26 plantas por metro lineal, para alcanzar una densidad de población de 325 mil plantas por hectárea (Félix, 2009).

### **2.14. Principales plagas**

#### **2.14.1 Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*)**

Es una de las plagas de mayor importancia económica en el cultivo del sorgo, ya que durante los últimos cinco años su incidencia ha aumentado considerablemente, convirtiéndose en un problema para los productores, tanto de

riego como de temporal. Su ciclo de vida, dura aproximadamente 30 días durante el verano, 60 días en primavera y en otoño en un rango de 80 a 90 días. 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).

El gusano cogollero selecciona hojas y brotes tiernos, especialmente de los cogollos para alimentarse, convirtiéndose en un masticador del tejido vegetal. En estado de plántula, puede causar la defoliación completa y además dañar el meristemo apical en desarrollo. La disminución de rendimiento en grano causada por la defoliación queda condicionada a la cantidad de área foliar destruida y la etapa de desarrollo del cultivo en que esta ocurra. El mayor impacto de la plaga, sucede cuando la defoliación se presenta en etapas vegetativas avanzadas y en las etapas reproductivas. Es importante considerar que el muestreo oportuno de la larva, permite tener un control adecuado de la plaga, ya que al atacar la larva en los primeros 3 instares, su control es más efectivo, debido a que es menos resistente y no ha formado un tapón de excremento en el cogollo que evita el contacto con los plaguicidas (Río, 2016).



**Figura 7.** Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*).

Dentro del Manejo Integrado de Plagas existen nuevas herramientas como el uso de trampas con feromonas que permiten el control o manejo eficiente de esta plaga. Con el trampeo, mediante el uso de una sustancia volátil (feromona) que emite olores y es dispersado por el viento, atraer insectos adultos (palomillas) de machos, y con ello monitorear la plaga. Al mismo tiempo que se reducen las poblaciones de adultos y el número de oviposiciones, al impedir el apareamiento.

Selección de variedades. Para elegir la mejor variedad se debe contar con amplia información técnica sobre la resistencia o tolerancia a plagas, en este caso al gusano cogollero.

El método químico es el más común para el control del gusano cogollero, donde la efectividad del método radica principalmente en el ingrediente activo, así como en la calidad, dosis y el momento de la aplicación (INTAGRI, 2016).

#### **2.14.2 Gusano soldado (*Spodoptera exigua*)**

En el sorgo esta es una de las plagas más agresivas por su tasa de consumo, ya que puede defoliar completamente al cultivo. 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. Esta plaga presenta cuatro estadios: huevecillo, larva, pupa y adulto. Los huevecillos pueden ser depositados en masa debajo de las hojas. Las larvas son de color verde militar. La pupa es de color café brillante y se encuentra por debajo del suelo. El adulto es una palomilla de color gris claro con una coloración anaranjada. Estos gusanos migran a la parte superior de la planta donde se alimentan, sobre todo, de las yemas apicales. Realizan orificios grandes en la hoja, desgarrando, a veces, la hoja hasta el nervio central. Las flores y yemas también son atacadas. Estos graves daños tienen consecuencias considerables para el crecimiento del cultivo.

La eliminación de malezas dentro y en los alrededores de las parcelas y la destrucción inmediata de residuos de cosecha son las prácticas más importantes. El uso de trampas con cebo alimenticio ayuda a reducir la población de adultos.

El uso de trampas con feromonas (*Spodoptera exigua*, *BAW* y *Pseudaletia unipuncta*) en el campo se evita el apareamiento normal de los adultos y con ello se interrumpe su reproducción y por lo tanto el daño al cultivo.



**Figura 8.** Gusano soldado (*Spodoptera exigua*).

Podemos encontrar enemigos naturales de esta plaga como lo son: Parasitoide Avispa (*Trichogramma pretiosum*), *Bacillus thuriemgeusis* para el control de larvas y *Beauveria bassiana* para el control de pupas. Estos enemigos naturales son muy efectivos en reducir las poblaciones de esta plaga (OSIAP, 2019).

### **2.14.3 Pulgón amarillo (*Melanaphis sacchari*)**

El pulgón amarillo del sorgo *M. sacchari* afecta al cultivo en todas las etapas de desarrollo, sin embargo, el daño es mayor conforme el cultivo tiene menor desarrollo vegetativo. Comúnmente, infesta el cultivo a partir del embuche o al inicio de la floración, pero en algunas regiones la infestación de las plantas ocurre prácticamente desde la emergencia del cultivo. Esta plaga causa daños indirectos al alimentarse de la savia de la planta, provocando que la planta pierda vigor y el follaje adquiera un color amarillo, y posteriormente café-rojizo, las plantas así afectadas no desarrollan grano o queda reducido en tamaño que se traduce en

una pérdida de rendimiento que varía entre del 70 y 100%, si no se implementan medidas de control eficaces (Cortez, 2018).



**Figura 9.** Pulgón amarillo en el sitio experimental de la UAAAN.

Una de las medidas recomendadas a los productores es la eliminación de plantas voluntarias y maleza hospedera (zacate Johnson y *Sorghum halepense*) sobre todo alrededor del lote de producción, previo al establecimiento del cultivo.

La medida de control cultural más importante, incluso que otras de diferentes métodos de control de plagas y que puede ser determinante para evitar las elevadas poblaciones, es la siembra durante el período recomendado del 15 de enero al 28 de febrero. Se ha dado énfasis al uso de depredadores, como catarinas (*Coleoptera: Coccinellidae*), crisopas (*Neuroptera: Chrysomelidae* y *Hemerobiidae*) y sírfidos (*Diptera: Syrphidae*) como agentes que causan mayor mortalidad en las poblaciones de pulgón (Cortez, 2018).

Esta especie desarrolla con facilidad resistencia a insecticidas. Es fundamental considerar un umbral de daño económico para implementar una estrategia de control, así como la rotación de productos. El uso de insecticidas sistémicos al momento de la siembra, reduce el ataque en los primeros días después de la emergencia.

## 2.15. Principales enfermedades

### 2.15.1 Ergot del sorgo (*Claviceps africana*)

En febrero de 1997 se presentó por primera vez en México, en la localidad de San Fernando, Tamaulipas y en la región de la Huasteca de San Luis Potosí y Veracruz. En el área de El Bajío (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 en sólo ocho meses el ergot se diseminó en estas zonas productoras (Acosta, 1997).



**Figura 10.** Daños causados por ergot del sorgo.

El hongo ataca únicamente ovarios no fecundados, generalmente de los lotes de reproducción de semilla (hembras) y en raras ocasiones en sorgos para grano, cuando hay esterilidad en el polen. El polen se puede esterilizar cuando hay bajas temperaturas (alrededor de 12 °C) y altas temperaturas (cercas a los 40 °C) y sequía durante el período anterior a la floración, de dos a tres semanas.

Hay dos signos evidentes de presencia de la enfermedad: el primero es la aparición de un micelio algodonoso entre las glumas de las flores infectadas; y el

segundo signo es la formación de mielecilla saliendo de las flores infectadas. La mielecilla es un delgado y viscoso fluido que contiene conidios. Las gotas de la mielecilla formada son incoloras y transparentes, pero poco a poco comienzan a hacerse opacas. Con el paso del tiempo, la mielecilla comienza a cambiar de amarillo marrón a rosa, con una superficie blanca. Las gotas pueden permanecer intactas o escurrir hasta flores sanas, semillas, hojas y suelo (Zavala *et al.*, 2002).

### **2.15.2 Antracnosis (*Colletotrichum graminicola*)**

Este hongo causa dos enfermedades en el sorgo: mancha foliar (antracnosis) y pudrición del tallo (pudrición roja). La antracnosis comúnmente aparece de 30-40 días después de la emergencia y se presenta en hojas de cultivares susceptibles durante el estado de crecimiento. Los síntomas en sorgo varían, dependiendo del cultivar y las condiciones de tiempo prevaecientes. 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 (FAO, 1980).



**Figura 11.** Daños causados por antracnosis.



Estas manchas desarrollan centros grises o pajizos con márgenes manchados de color canela, naranja o rojo a púrpura, negruzco dependiendo del cultivar y población del patógeno. Conforme las manchas se hacen viejas, los centros se ponen grisáceos o pajizos oscuros y aparecen numerosas pústulas con cerdas provenientes de color negro o pardo oscuro.

Las manchas pueden fusionarse para formar parches grandes de color rojizo en la hoja. Las cerdas están entremezcladas con los conidióforos en las pústulas, que son los cuerpos fluctuantes (acérvulos) del hongo causal. La enfermedad mata el tejido de la hoja y puede defoliar completamente a la planta (FAO, 1980).

La pudrición del tallo puede iniciar por la infección de plántulas o por esporas provenientes de los residuos. Estas esporas infectan el tallo a través de las raíces, por la base de la planta, por lesiones causadas por insectos u otras lesiones mecánicas. Las lesiones en los tallos aparecen de forma ovalada o áreas estrechas y verticales con apariencia turbia que empiezan de color rojizo-café y después se tornan negras. Una característica que distingue a esta enfermedad es que las manchas negras brillantes se unen dando un aspecto de manchas apétroladas. El tejido enfermo es de color oscuro y los nudos del tallo permanecen intactos (Reyes, 2015).

### **2.15.3 Roya común (*Puccinia purpurea*)**

Entre las royas que afectan al sorgo, la causada por *Puccinia purpurea* es la más ampliamente distribuida; está presente en todos los continentes (Frederiksen, 1986). En general, la enfermedad se manifiesta a partir de floración y las condiciones de elevada humedad favorecen su aparición y desarrollo epifítico. Su ocurrencia, bajo condiciones ambientales favorables, provoca una menor longitud de excursión de la panícula y granos arrugados, con pérdidas del rendimiento de hasta el 65%. El manejo de la enfermedad se basa en la utilización de cultivares resistentes o de buen comportamiento agronómico (Frederiksen, 1986).

Los síntomas típicos de roya se expresan en plantas de 1,5 a 3 meses de edad, sobre ambas superficies de la hoja aparecen esparcidas purpura, rojas o castañas manchas, 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.



**Figura 12.** Daños de roya común en sorgo.

Los períodos de humedad prolongada durante el período de crecimiento vegetativo, pueden provocar una importante infección de roya, durante la etapa de floración y llenado de grano, con pérdidas en el rendimiento. La infección severa de roya, también contribuye al acame, ya que reduce la superficie foliar y puede aumentar el estrés de la planta (Ryley *et al.*, 2002). La roya es frecuente en diversas regiones productoras de sorgo a nivel mundial.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

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

El presente trabajo de investigación se estableció durante el ciclo agrícola primavera-verano 2019, 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). El clima es muy seco; semicálido, con invierno fresco extremo, con lluvias en verano y una precipitación invernal superior al 10% del total anual.

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

En el trabajo de investigación se utilizó como testigo un híbrido de una empresa comercial y 33 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, los cuales fueron utilizados como tratamientos (Cuadro 5).

### 3.3. Tratamientos

**Cuadro 5.** Genotipos de sorgo utilizados en el trabajo de investigación.

<b>T</b>	<b>Genotipo</b>	<b>T</b>	<b>Genotipo</b>	<b>T</b>	<b>Genotipo</b>
1	LES-441	13	LES-463	25	LES-481
2	LES-442	14	LES-466	26	LES-483
3	LES-443	15	LES-467	27	LES-484
4	LES-450	16	LES-468	28	LES-485
5	LES-451	17	LES-470	29	LES-486
6	LES-454	18	LES-471	30	LES-487
7	LES-455	19	LES-473	31	LES-488
8	LES-456	20	LES-474	32	LES-490
9	LES-458	21	LES-476	33	LES-491
10	LES-459	22	LES-477	34	Testigo*
11	LES-460	23	LES-479		
12	LES-461	24	LES-480		

T= Tratamiento; \*Híbrido comercial

### 3.4. Diseño experimental

En el presente trabajo de investigación se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, con 33 genotipos y un testigo comercial, con tres repeticiones por tratamiento, para un total de 102 parcelas experimentales. Para el análisis estadístico de los datos se realizó un análisis de varianza con el paquete

estadístico SAS Institute y una 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.

### **3.5. Manejo agronómico**

Previo a la siembra, se realizaron labores de preparación del terreno, a inicios de establecimiento del cultivo se realizó un raleo de plántulas con la finalidad de establecer una densidad ideal en la parcela experimental. Se aplicaron cinco riegos de auxilio por medio de riego por gravedad.

### **3.6. Siembra y densidad**

Se realizó siembra directa el día 18 de mayo del 2019, las parcelas experimentales se establecieron a una distancia de 3.8 m, con espacios de 0.80 m entre surcos, con una densidad promedio de 16 plantas por metro lineal.

### **3.7. Fertilización**

Para la nutrición vegetal del cultivo, se aplicó fertilizante foliar de ácidos húmicos y fúlvicos en etapa vegetativa, reproductiva y llenado de grano. A su vez, se aplicó fertilizante granulado a base de la fórmula 18-46-00 y aplicaciones foliares con la fórmula 20-20-20. También se aplicaron biorreguladores de crecimiento a base de citocininas y auxinas, para promover el crecimiento y desarrollo de las plantas.

### **3.8. Control de malezas**

Al siguiente día de la siembra, se realizó la aplicación de un herbicida pre-emergente a base del ingrediente activo Atrazina. Una vez que se presentaron las malezas, el control se realizó mediante escardas de forma mecánica y de manera manual con la finalidad de que estas no compitieran con las plantas de sorgo.

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

Dentro del control de plagas, se realizaron diversas aplicaciones de un insecticida contra el pulgón amarillo (*Melanaphis sacchari*) con ingrediente activo Clorpirifos etil + Permetrina a una concentración de 3 ml/l. También se realizaron aplicaciones de un insecticida a base del ingrediente activo Spinetoram, para el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) a una concentración de 3 ml/L.

Para el control de enfermedades foliares se utilizó un fungicida con ingrediente activo a base de Clorotalonil para combatir la roya (*Puccinia sorghi*). Así mismo, durante la etapa de floración se realizaron aplicaciones preventivas para evitar la infestación de las inflorescencias por ergot del sorgo (*Claviceps africana*) con un fungicida a base del ingrediente activo propiconazol.

### **3.10. Cosecha**

Se realizó durante el mes de octubre del año 2019, una vez que las semillas tenían las condiciones ideales de contenido de humedad. Posteriormente, se procedió a la cosecha manual con navajas para cortar las panículas y alambres para amarrar a las mismas. Después se procedió a secar las panículas de forma natural, es decir, expuestas al sol por períodos prolongados de tiempo para bajar el contenido de humedad en un rango de 9-11%.

### **3.11. Trilla de la semilla**

El trillado se llevó a cabo en la última semana del mes de noviembre, 2019, este procedimiento consistió en separar los granos de las panículas con la ayuda de piezas de madera dentro de bandejas de plástico, todo con el objetivo de eliminar las glumas. Después se utilizó un ventilador, para retirar los restos de glumas e impurezas y por último, se almacenaron las semillas en contenedores herméticos.

### **3.12. Variables evaluadas**

#### **3.12.1 Días a floración**

Se evaluó al momento en que las panículas de las plantas estuvieran en un 50% de antesis media, durante la etapa reproductiva.

### **3.12.2 Altura de planta**

Se realizó desde la base del tallo de la planta hasta la punta superior de la panícula, en tres plantas de sorgo al azar en competencia completa por parcela, expresándose en centímetros. El material con el que se midió esta variable fue una cinta métrica y se evaluó durante la etapa de madurez fisiológica final.

### **3.12.3 Longitud de exersión**

Se midió a partir de la última hoja (hoja bandera), hasta la base de la panícula en tres plantas de sorgo seleccionadas al azar en competencia completa por parcela experimental. El material de apoyo que se utilizó fue una cinta métrica y se realizó en la etapa de madurez fisiológica.

### **3.12.4 Longitud de panícula**

Se llevó a cabo la medición desde la base del cuello, hasta el ápice de la panícula con la ayuda de una cinta métrica en la etapa de madurez fisiológica.

### **3.12.5 Longitud de hoja**

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, esto fue en la etapa de madurez fisiológica.

### **3.12.6 Ancho de hoja**

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.

### **3.12.7 Diámetro de tallo**

Se realizó en etapa de madurez fisiológica midiendo el tallo en la parte intermedia con la ayuda de un Vernier.



### **3.12.8 Incidencia de daño por aves**

Se evaluó en forma visual, expresándose en porcentaje de daño (0-100%) en el grano distribuido en toda la panícula por afectaciones por aves en campo.

### **3.12.9 Incidencia de enfermedades foliares**

Se evaluó de forma visual en una escala del 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. La toma de datos, se realizó de acuerdo a las recomendaciones sugeridas por (House, 1985). Este parámetro se tomó en la etapa de madurez fisiológica final.

### **3.12.10 Grados brix**

Con la ayuda de un refractómetro portátil se evaluaron tres muestras en una planta (parte superior, media y basal), en donde se tomó la muestra del jugo del tallo, para observar la lectura correspondiente de la concentración de azúcares en grados brix del genotipo de sorgo. La evaluación de esta variable se realizó durante la etapa reproductiva a inicio de floración.

### **3.12.11 Rendimiento de grano en gramos por planta**

Se realizó el trillado de cinco panículas de sorgo en forma individual. A su vez, se registró el peso total dividido entre el número de panículas por parcela experimental, para obtener el rendimiento promedio de grano expresado en gramos por planta. Para la determinación de esta variable se utilizó una balanza analítica en etapa de postcosecha.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

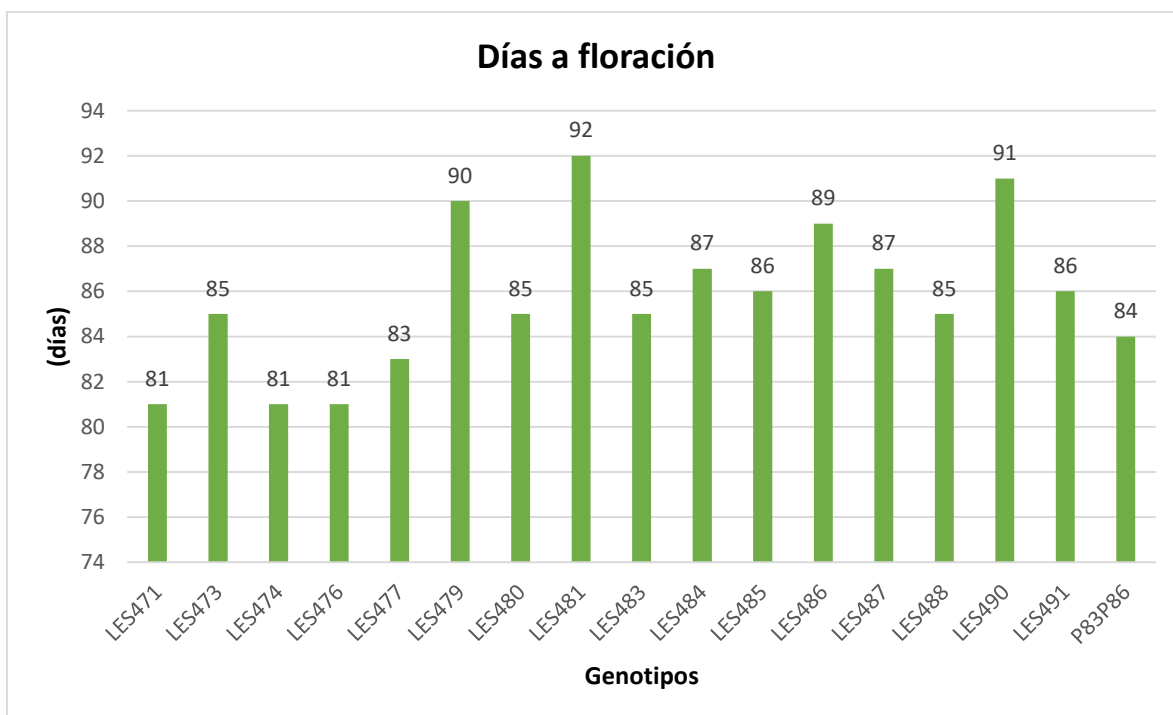
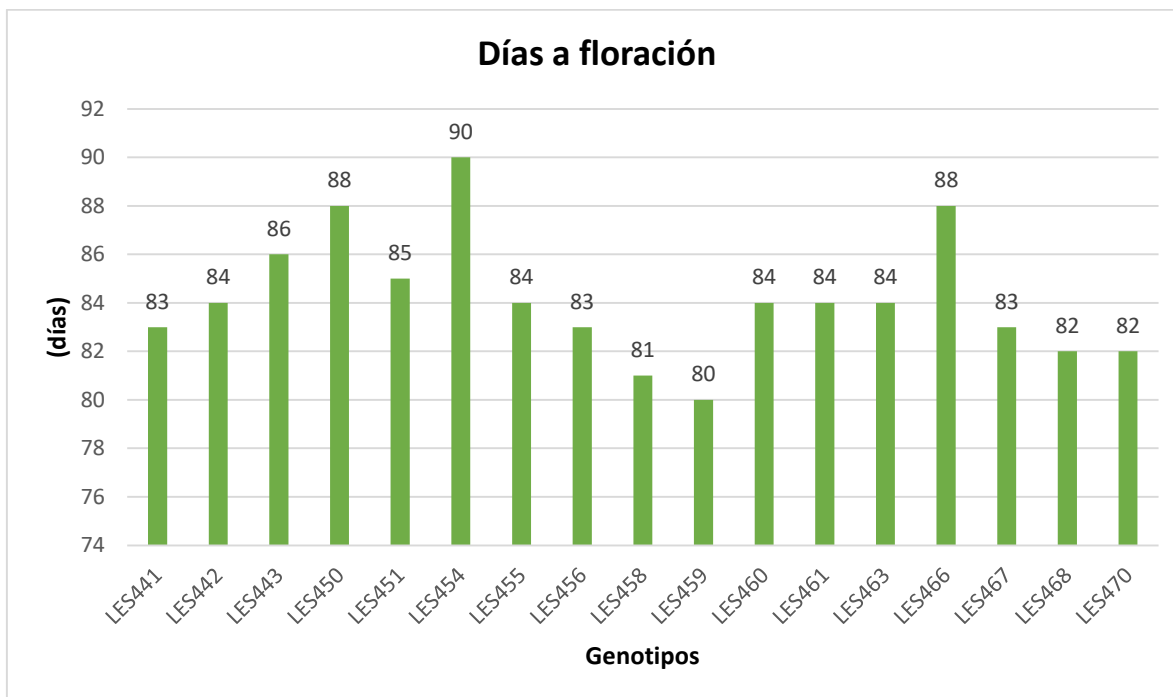
En el análisis de varianza (Cuadro 6) se presentan los resultados obtenidos de los cuadrados medios de las variables evaluadas en el presente trabajo de investigación.

Los resultados mostraron diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre los distintos tratamientos para las variables altura de planta (AP), longitud de exersión (LE), longitud de panícula (LP), diámetro de tallo (DT), incidencia de daños por aves (IDA), incidencia de enfermedades foliares (IEF) y rendimiento de grano en gramos por planta (Rto.g/P), mientras que para las variables días a floración (DF) y longitud de hoja (LH) se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ). Para las variables, ancho de hoja (AH) y grados brix (GB), estas no presentaron diferencias estadísticas.

### 4.1. Días a floración

Para días a floración, en el análisis de varianza (Cuadro 6) los resultados mostraron diferencias significativas entre tratamientos. En la Figura 13, se observan los genotipos que presentaron mayor precocidad, los primeros fueron LES-459, LES-458 y LES-474 en un rango de 80 a 81 días. En cambio, los más tardíos fueron LES-481, LES-490, LES-454 y LES-479 en un rango de 90 a 92 días.

Los resultados son diferentes a los encontrados por Montes (2014) quien trabajo con 10 híbridos de sorgo en González, Tamaulipas durante el ciclo de primavera-verano en 2011. Los híbridos de sorgo se ubicaron en un rango de 54 a 64 días desde el más precoz, hasta el más tardío. Comparando los resultados que este investigador presenta, podemos observar que las Líneas Experimentales de Sorgo evaluadas en Buenavista, Saltillo, Coahuila son más tardías, ya que en ninguna de las líneas se encuentra en el rango de los híbridos reportados en esta investigación, en donde el ambiente de producción, influye directamente.



**Figura 13.** Comparación de medias, para la variable días a floración (días) de Líneas Experimentales de Sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2019 en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila.

**Cuadro 6.** Análisis de varianza de variables agronómicas en Líneas Experimentales de Sorgo evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2019 en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila.

F.V.	G.L.	DF (días)	AP (cm)	LE (cm)	LP (cm)	LH (cm)	AH (cm)
Genotipos	33	29.87*	1083.58**	31.31**	17.33**	41.84*	0.63
Bloque	2	15.02	344.04		34.14	166.21	1.44
Modelo	35	29.02	1041.32	32.74	18.29	48.94	0.68
Error	66	16.78	201.93	14.61	5.05	21.52	0.53
Total	101						
Media		85.26	132.60	7.47	31.01	74.10	7.99
C.V.%		4.80	10.71	51.12	7.24	6.26	9.16

Continuación Cuadro 6.

F.V.	G.L.	DT (mm)	IDA (%)	IEF (1-5)	GB	Rto.g/P (g)
Genotipos	33	8.2**	3411.36**	0.56**	4.58	2257.60**
Bloque	2	0.10		0.56	31.64	
Modelo	35	7.75	3230.98	0.54	6.13	2991.29
Error	66	4.01	648.18	0.24	3.35	812.86
Total	101					
Media		6.90	64.93	1.44	7.79	46.46
CV %		11.84	39.20	34.31	23.50	61.36

F. V= Fuentes de variación; G.L.= Grados de libertad; CV%= Coeficiente de variación en porcentaje; DF= Días a floración; AP= Altura de planta; LE= Longitud de exersión; LP= Longitud de panícula; LH= Longitud de hoja; AH= Ancho de hoja; DT= Diámetro de tallo; IDA= Incidencia de daños por ave; IEF= Incidencia de enfermedades foliares; GB= Grados brix; Rto.g/P= Rendimiento de grano en gramos por planta; \*, \*\* = Significativos al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

**Cuadro 7.** Promedios de las variables agronómicas en Líneas Experimentales de Sorgo evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2019 en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Genotipo	DF (días)	AP (cm)	LE (cm)	LP (cm)	LH (cm)	AH (cm)	DT (mm)	IDA (%)	IEF (1-5)	GB	Rto.g/P (g)
LES441	83.00 a	122.06 bc	4.56 a	34.36 ab	70.63 a	8.26 a	15.40 ab	100.00 a	1.33 a	7.73 a	57.00 abc
LES442	84.66 a	127.86 bc	6.63 a	30.96 abcde	70.06 a	8.16 a	16.40 ab	100.00 a	1.66 a	7.63 a	44.83 abc
LES443	86.00 a	208.63 a	12.96 a	32.06 abcde	77.30 a	8.86 a	17.53 ab	77.73 ab	1.00 a	7.53 a	62.60 abc
LES450	88.66 a	129.96 bc	7.06 a	32.30 abcde	78.53 a	8.13 a	17.50 ab	35.53 ab	1.33 a	6.10 a	82.43 abc
LES451	85.33 a	132.53 bc	12.66 a	30.96 abcde	76.06 a	7.33 a	16.93 ab	32.50 ab	1.00 a	7.90 a	24.66 abc
LES454	90.33 a	115.40 c	13.96 a	32.40 abcde	75.40 a	7.86 a	14.66 b	54.40 ab	2.00 a	6.16 a	54.00 abc
LES455	84.33 a	152.43 bc	9.20 a	34.43 a	68.30 a	8.03 a	16.53 ab	100.00 a	2.00 a	8.50 a	0 c
LES456	83.33 a	123.00 bc	4.40 a	33.53 abc	74.96 a	7.90 a	17.16 ab	96.66 a	2.00 a	8.56 a	48.16 abc
LES458	81.00 a	147.53 bc	4.30 a	25.86 de	79.06 a	8.00 a	17.13 ab	77.73 ab	2.33 a	9.90 a	22.30 abc
LES459	80.66 a	164.10 ab	11.73 a	25.40 e	68.30 a	7.56 a	14.16 b	96.00 a	2.00 a	9.80 a	10.53 abc
LES460	84.00 a	127.43 bc	7.83 a	31.30 abcde	73.63 a	8.40 a	18.33 ab	98.86 a	1.66 a	8.53 a	0 c

Continuación Cuadro 7.

Genotipo	DF (días)	AP (cm)	LE (cm)	LP (cm)	LH (cm)	AH (cm)	DT (mm)	IDA (%)	IEF (1-5)	GB	Rto.g/P (g)
LES461	84.00 a	140.16 bc	8.73 a	28.96 abcde	78.53 a	8.00 a	15.33 ab	57.16 ab	1.33 a	6.86 a	69.53 abc
LES463	84.66 a	135.63 bc	9.90 a	29.30 abcde	79.73 a	7.80 a	18.70 ab	2.20 b	1.00 a	5.50 a	70.06 abc
LES466	88.33 a	119.30 bc	5.16 a	30.73 abcde	73.53 a	7.26 a	15.96 ab	94.20 ab	1.33 a	7.76 a	23.83 abc
LES467	83.00 a	153.86 bc	9.63 a	26.73 cde	74.06 a	7.83 a	14.20 b	99.86 a	1.00 a	7.23 a	3.00 bc
LES468	82.33 a	129.10 bc	7.30 a	33.86 abc	76.83 a	8.30 a	17.73 ab	36.10 ab	1.00 a	6.30 a	63.76 abc
LES470	82.33 a	123.06 bc	3.16 a	31.50 abcde	69.16 a	8.16 a	18.90 ab	91.96 ab	2.33 a	6.86 a	30.63 abc
LES471	81.33 a	127.00 bc	2.86 a	30.76 abcde	73.86 a	7.63 a	14.20 b	85.53 ab	2.00 a	8.03 a	26.93 abc
LES473	85.66 a	114.30 c	4.63 a	27.83 abcde	73.40 a	7.80 a	15.76 ab	0	1.66 a	10.03 a	62.10 abc
LES474	81.33 a	122.06 bc	5.20 a	30.63 abcde	76.30 a	7.80 a	16.83 ab	25.50 ab	1.66 a	8.16 a	77.73 abc
LES476	81.33 a	122.53 bc	7.16 a	32.16 abcde	72.30 a	7.70 a	16.36 ab	72.20 ab	1.33 a	6.50 a	43.76 abc
LES477	83.00 a	128.40 bc	7.43 a	30.96 abcde	69.53 a	7.63 a	18.10 ab	100.00 a	1.33 a	9.63 a	15.16 abc
LES479	90.33 a	115.20 c	8.00 a	27.06 bcde	69.96 a	7.46 a	16.26 ab	14.43 ab	1.00 a	6.90 a	63.50 abc

Continuación Cuadro 7.

Genotipo	DF (días)	AP (cm)	LE (cm)	LP (cm)	LH (cm)	AH (cm)	DT (mm)	IDA (%)	IEF (1-5)	GB	Rto.g/P (g)
LES480	85.66 a	125.20 bc	8.16 a	33.86 abc	72.96 a	8.23 a	17.13 ab	54.96 ab	1.00 a	9.50 a	65.00 abc
LES481	92.66 a	156.43 bc	10.73 a	29.83 abcde	71.40 a	9.06 a	19.13 ab	88.86 ab	1.00 a	9.00 a	75.86 abc
LES483	85.00 a	137.20 bc	6.26 a	33.10 abcde	77.96 a	8.46 a	19.40 ab	33.30 ab	1.00 a	7.40 a	99.63 a
LES484	87.66 a	111.86 c	9.86 a	32.96 abcde	76.40 a	8.63 a	17.20 ab	17.20 ab	1.66 a	5.73 a	62.63 abc
LES485	86.33 a	139.96 bc	8.33 a	33.40 abc	72.43 a	7.70 a	18.16 ab	97.76 a	1.00 a	6.93 a	10.20 abc
LES486	89.66 a	151.43 bc	5.93 a	30.10 abcde	82.96 a	7.83 a	21.33 a	0	1.00 a	8.73 a	95.20 ab
LES487	87.00 a	117.86 bc	7.06 a	32.40 abcde	71.10 a	6.96 a	17.53 ab	58.86 ab	1.33 a	8.36 a	52.83 abc
LES488	85.00 a	125.86 bc	8.50 a	29.86 abcde	73.16 a	8.13 a	16.53 ab	57.73 ab	2.00 a	6.46 a	42.10 abc
LES490	91.66 a	113.86 c	0	32.30 abcde	72.63 a	8.90 a	17.43 ab	69.43 ab	1.33 a	7.80 a	36.86 abc
LES491	86.00 a	126.86 bc	2.63 a	33.26 abc	69.43 a	8.10 a	17.13 ab	94.43 ab	1.00 a	7.70 a	15.66 abc
Testigo	84.00 a	120.43 bc	12.20 a	29.20 abcde	79.53 a	7.73 a	13.80 b	86.60 ab	1.33 a	9.06 a	67.20 abc



.....Continuación Cuadro 7.

Genotipo	DF (días)	AP (cm)	LE (cm)	LP (cm)	LH (cm)	AH (cm)	DT (mm)	IDA (%)	IEF (1-5)	GB	Rto.g/P (g)
Media	85.26	132.60		31.01	74.10	7.99	6.90		1.44	7.79	46.46
Tukey											

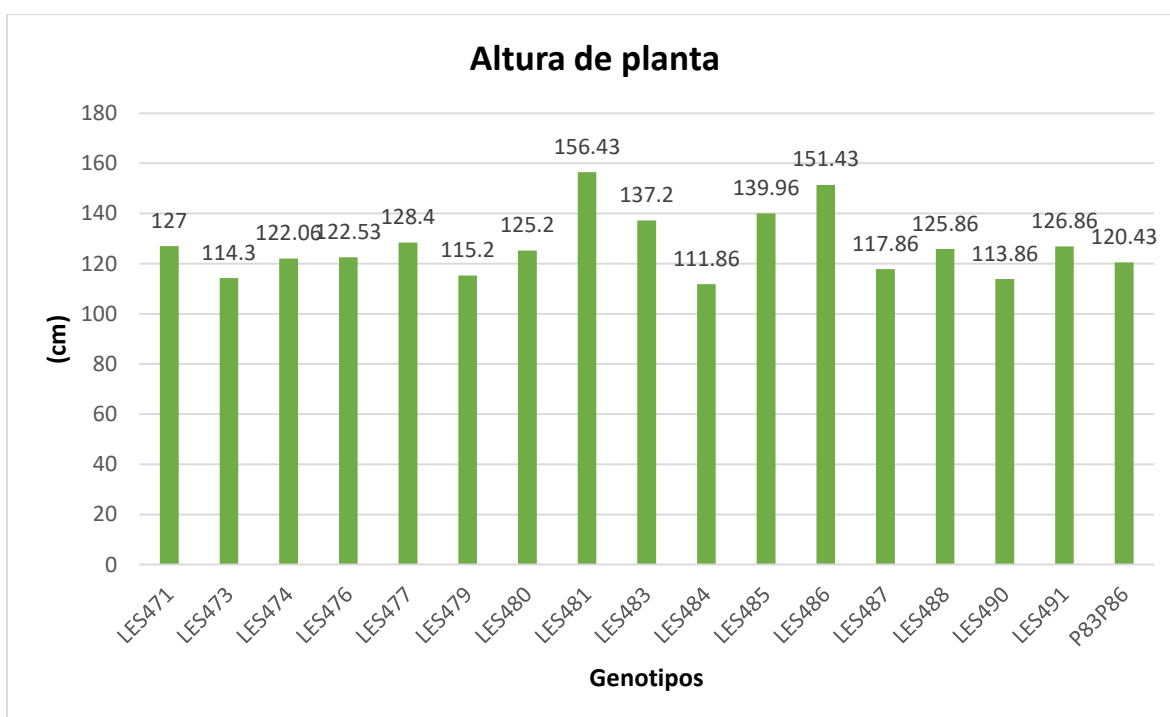
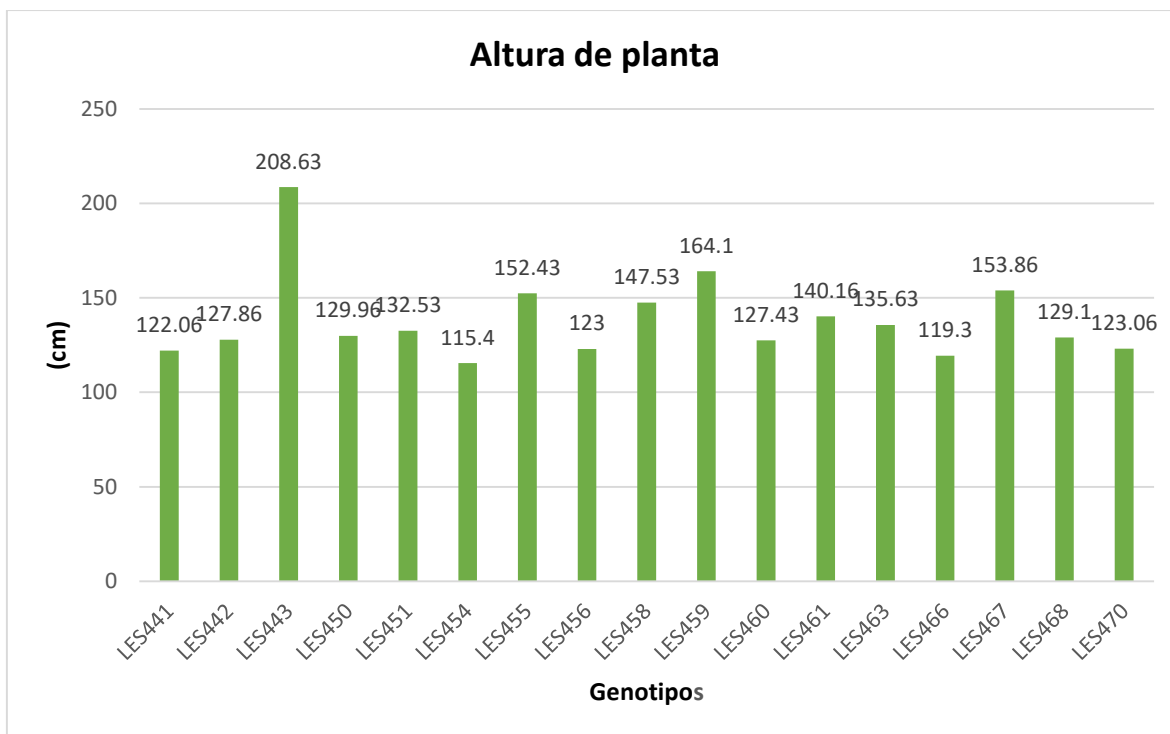
Valores con la misma literal dentro de cada columna son estadísticamente iguales. DF= Días a floración; AP= Altura de planta; LE= Longitud de exersión; LP= Longitud de panícula; LH; Longitud de hoja; AH= Ancho de hoja; DT= Diámetro del tallo; IDA= Incidencia de daño por aves; IEF; Incidencia de enfermedades foliares; GB= Grados brix; Rto. g/P= Rendimiento de grano en gramos por planta.

## **4.2. Altura de planta**

El análisis de varianza (Cuadro 6) para la variable altura de planta, reporta que los resultados mostraron tener diferencias altamente significativas, donde los genotipos que presentaron mayor altura fueron LES-443, LES-459 y LES-481, mientras que los de menor altura fueron LES-484, LES-490 y LES-473.

Como se observa en la Figura 14, el genotipo más alto es LES-443 con una altura de 208.63 cm y el más bajo, fue el genotipo LES-484 con una altura de 111.86 cm, respectivamente.

Estos resultados son semejantes a los encontrados por Mendoza (2017), quien trabajó con un grupo de líneas mantenedoras (B) y líneas restauradoras (R) en dos ambientes (Agua Blanca, Villa Juárez, sonora en el ciclo Otoño-Invierno en 2014 y en Montecillo, Estado de México en el ciclo Primavera-Verano en 2014). Los datos promedio de esta investigación, son de dos ambientes de evaluación, en donde las líneas B mostraron un rango de 100 a 95 cm de altura, mientras que para las líneas R los valores fueron de 152 a 132 cm.



**Figura 14.** Comparación de medias, para la variable altura de planta (cm) de Líneas Experimentales de Sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2019 en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila.

### **4.3. Longitud de exersión**

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza (Cuadro 6) para la variable, longitud de exersión muestran diferencias altamente significativas entre los tratamientos. Los genotipos que presentaron mayor longitud de exersión (Figura 15) fueron LES-454, LES-43 y LES-451. Por otra parte, los genotipos que resultaron tener la menor longitud de exersión fueron LES-490, LES-491 y LES-471.

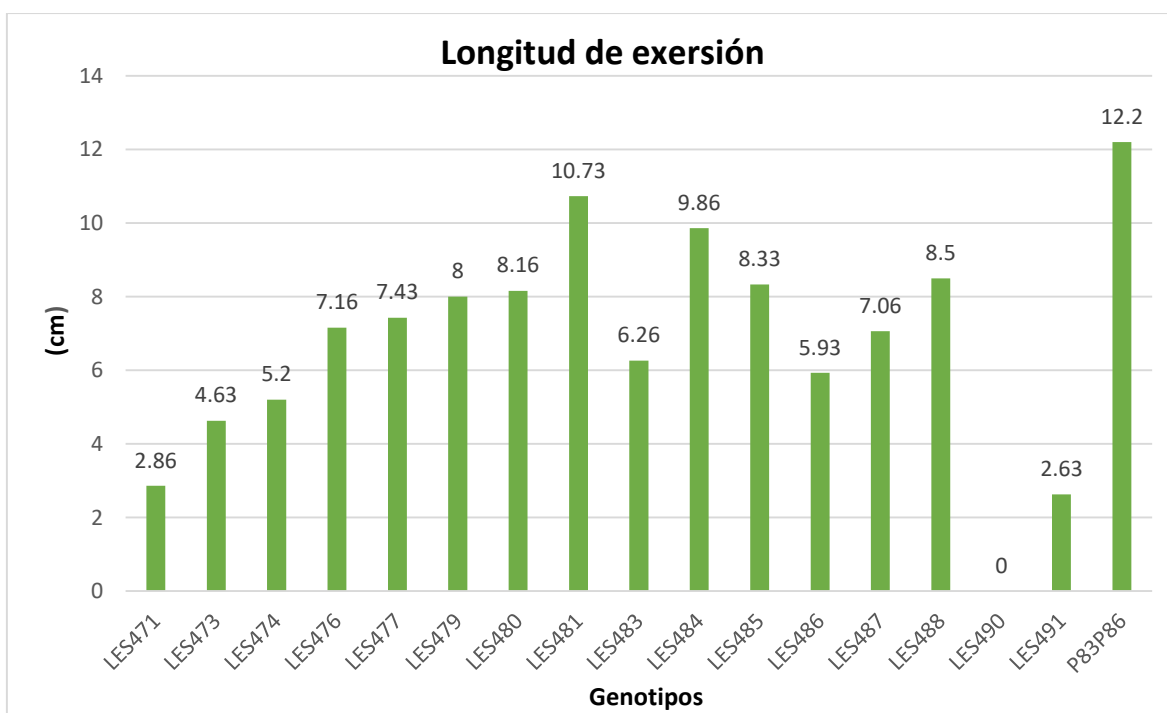
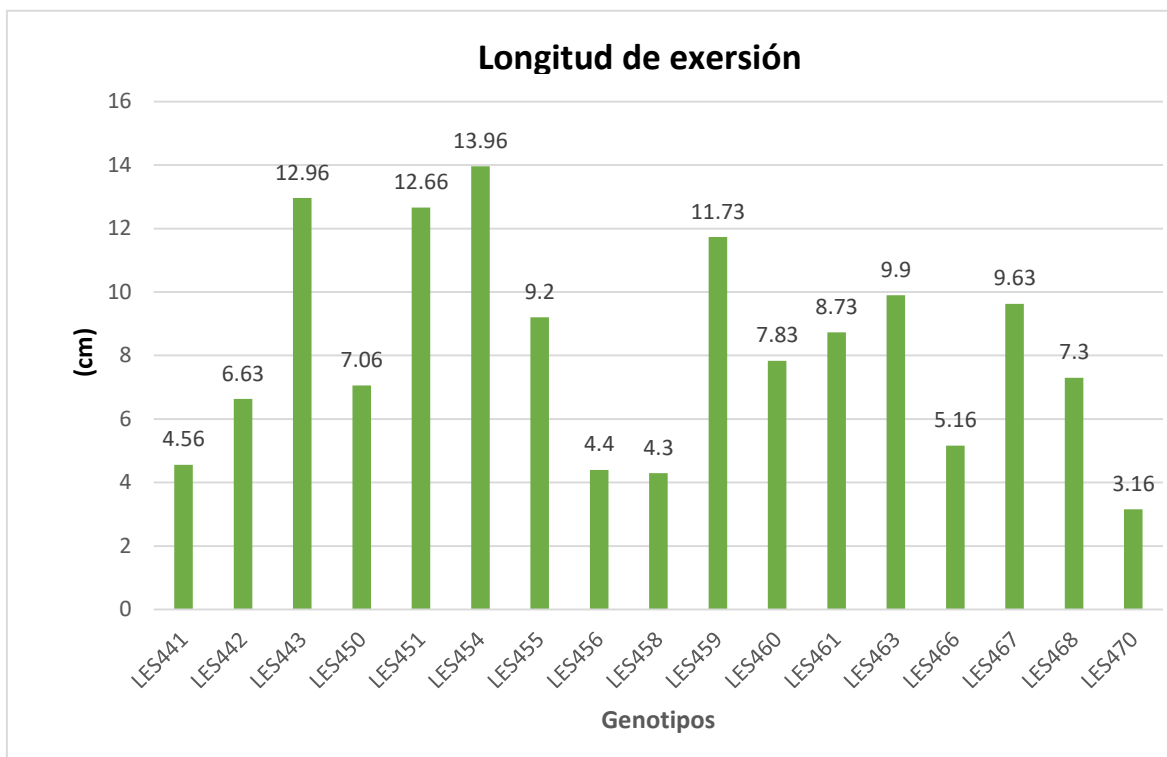
El genotipo que presentó la mayor longitud fue él LES-454 teniendo un promedio de 13.96 centímetros, mientras que el genotipo más bajo fue LES-490 registrando 0.0 centímetros (Figura 15).

El híbrido comercial, registro una longitud de exersión muy buena, ya que fue el cuarto promedio más alto con 12.2 cm.

La longitud de exersión está controlada regularmente por características genéticas, pero también existen limitantes y una de estas es causada por factores ambientales como lo es la deficiencia de agua en la planta (Compton, 1990).

Esta variable es de gran importancia, debido a que entre mayor sea la longitud de exersión los granos tienen menos contacto con la vaina de la hoja bandera, reduciendo así el daño por plagas y enfermedades en la parte inferior de la panícula y el contenido de humedad en el grano en manejo postcosecha.

Según Villeda (2014) menciona que entre mayor sea la longitud de exersión de las plantas, estas favorecen a tener una mejor cosecha de forma mecánica y también se evita el aumento de contenido de humedad en el grano.



**Figura 15.** Comparación de medias, para la variable longitud de exersión (cm) de Líneas Experimentales de Sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2019 en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila.

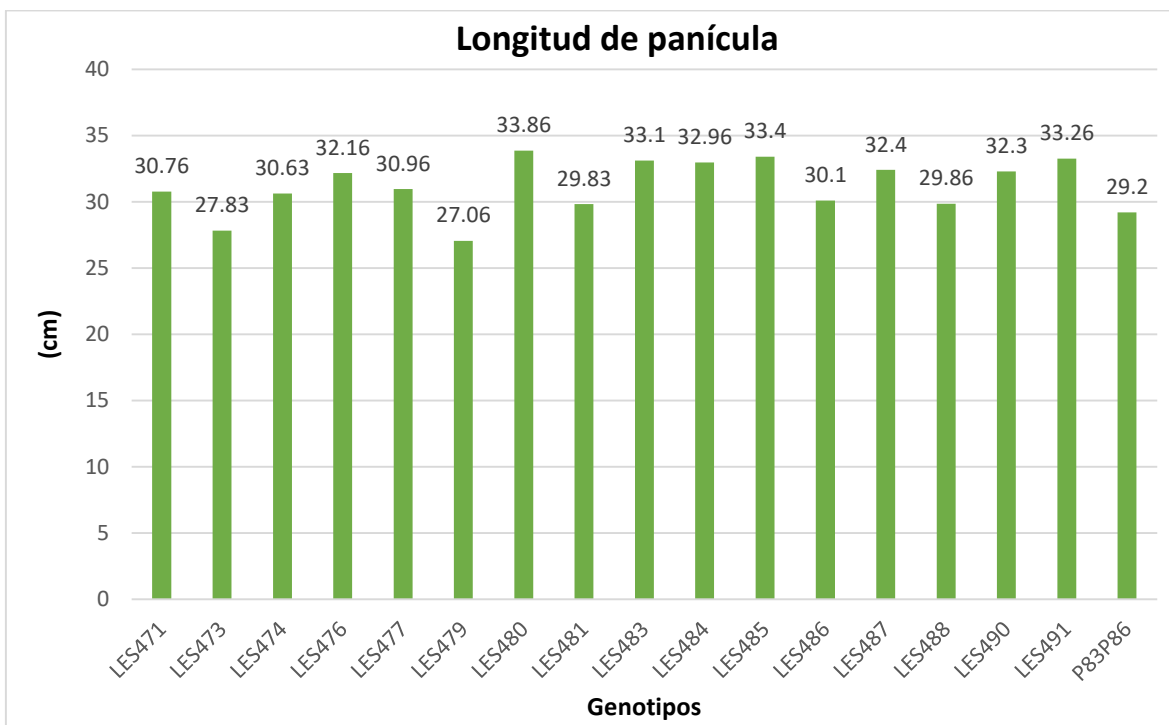
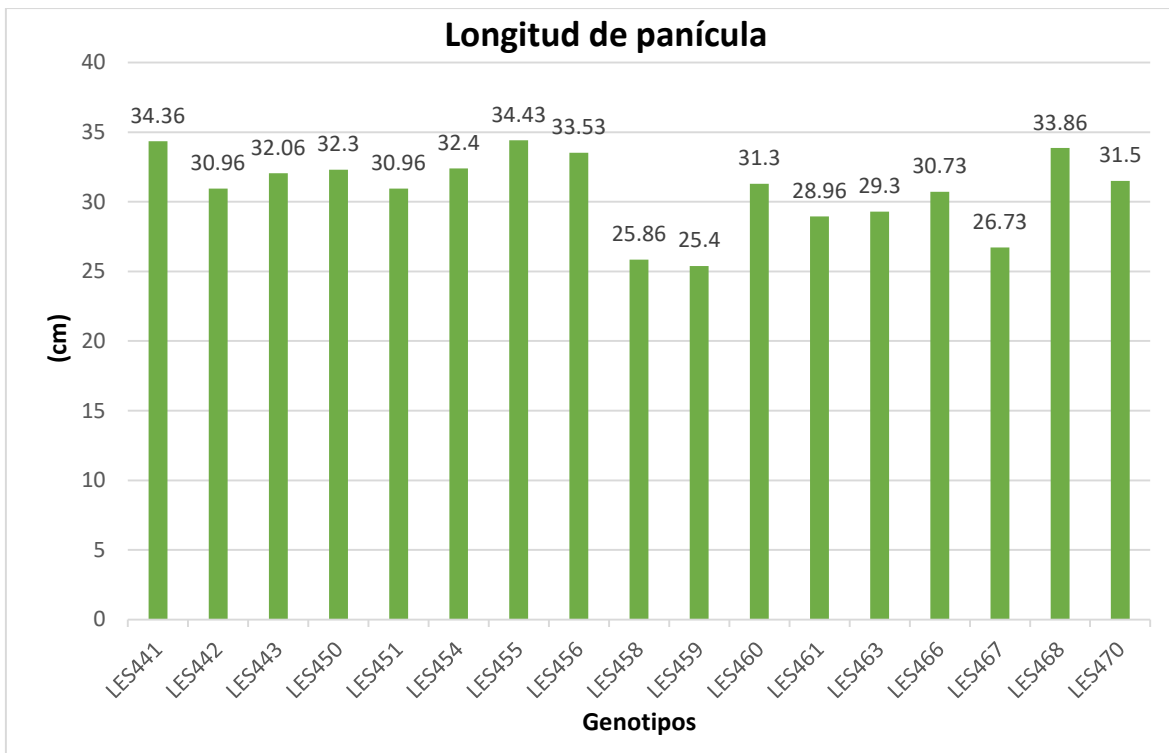
#### **4.4. Longitud de panícula**

La variable longitud de panícula, presentó diferencias altamente significativas entre los tratamientos como se observa en el análisis de varianza (Cuadro 6). El genotipo con mayor longitud fue él LES-455 registrando un valor de 34.43 cm, seguido de los genotipos LES-441 y LES-480 con valores de 34.36 cm y 33.86 cm, respectivamente (Figura 16).

Los genotipos que presentaron menor longitud fueron LES-458, LES-467 y LES-459 siendo este último el más bajo con 25.40 cm. Para esta variable el híbrido de la empresa comercial, registró un promedio de 29.20 cm.

La inflorescencia es una panícula de racimo o panoja con un raquis central que es cubierto por la densidad de sus ramas o también puede quedar totalmente expuesto. Esta puede ser corta o larga, suelta y abierta, y compacta o semicompacta, puede llegar a tener una longitud que va desde los cuatro, hasta 25 cm de largo y de dos a 20 cm de ancho y puede llegar a presentar de 400 a 800 granos, según el tipo de panícula (Compton, 1990).

Los resultados son semejantes a los reportados por Montes (2010) quien trabajo en el sur del estado de Tamaulipas con el genotipo RB-Huasteco y otros híbridos comerciales sembrados en la región, bajo la modalidad de temporal durante el ciclo agrícola primavera-verano. Comparando estos resultados para la variable longitud de panícula el RB-Huasteco, presentó un promedio de 28.8 cm, comparado con el genotipo LES-455 quien fue el que presento el mejor promedio de las líneas de sorgo evaluadas en el presente trabajo con 34.43 cm.



**Figura 16.** Comparación de medias, para la variable longitud de panícula (cm) de Líneas Experimentales de Sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2019 en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila.

#### **4.5. Longitud de hoja**

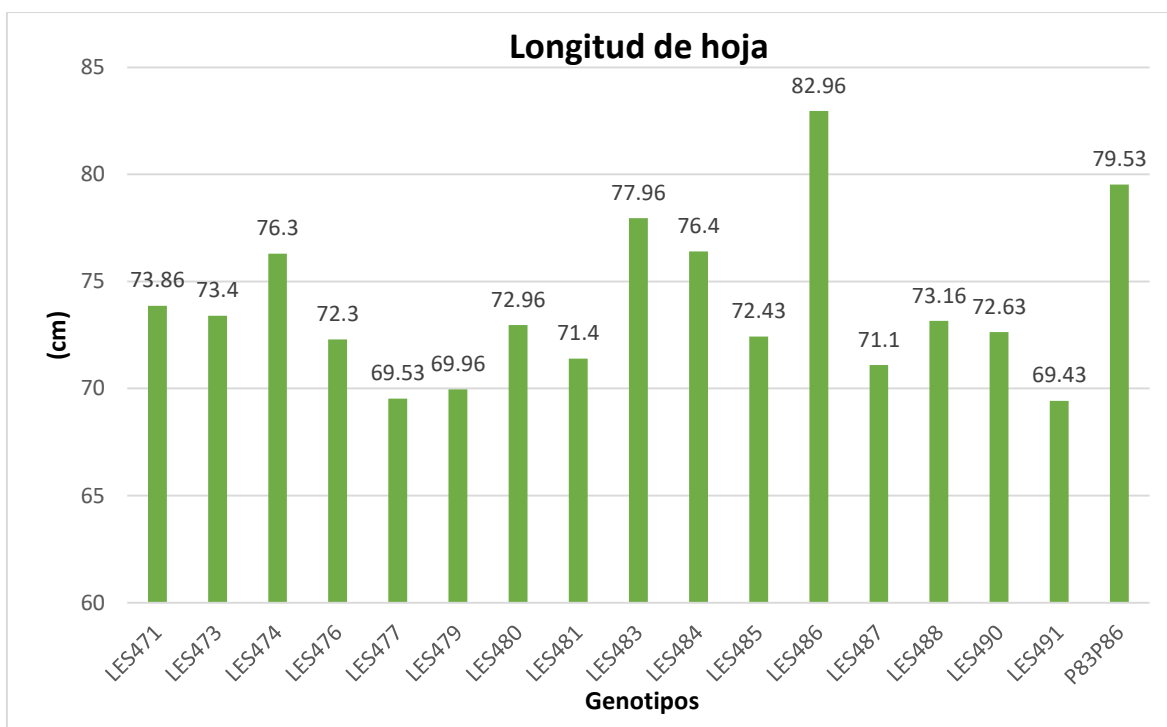
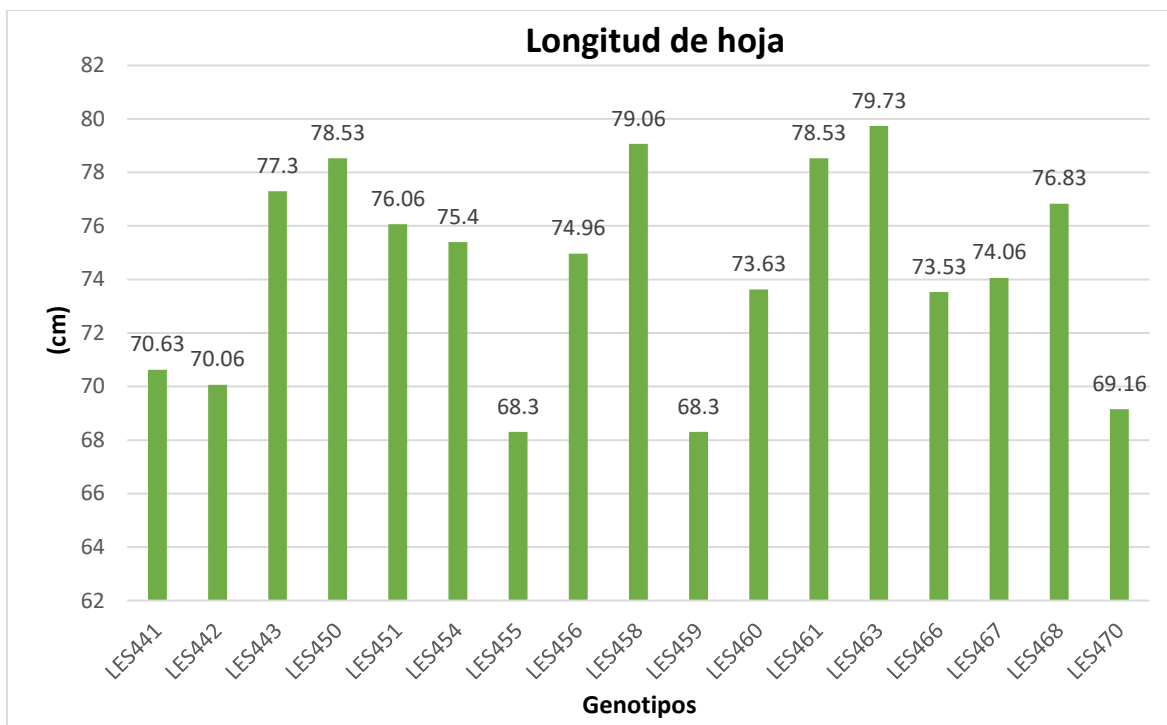
En el Cuadro 6, se presentan los resultados del análisis de varianza para la variable longitud de hoja en donde se detecta una diferencia significativa entre tratamientos.

Las líneas experimentales de sorgo que registraron las medias más altas fueron; LES-486, LES-463 y el híbrido testigo con medias de 82.96 cm, 79.73 cm y 79.53 cm, respectivamente. Mientras que la media más baja, la obtuvieron las líneas LES-455 y LES-459 con 68.3 cm, seguidos por la LES-470 con 69.16 cm, respectivamente (Figura 17).

De acuerdo a la línea que presento la mayor longitud de hoja con las más bajas, el rango de diferencia fue de 14.66 cm.

Las hojas son alternas, aserradas, lanceoladas, anchas y ásperas en su margen (Duke, 1983).





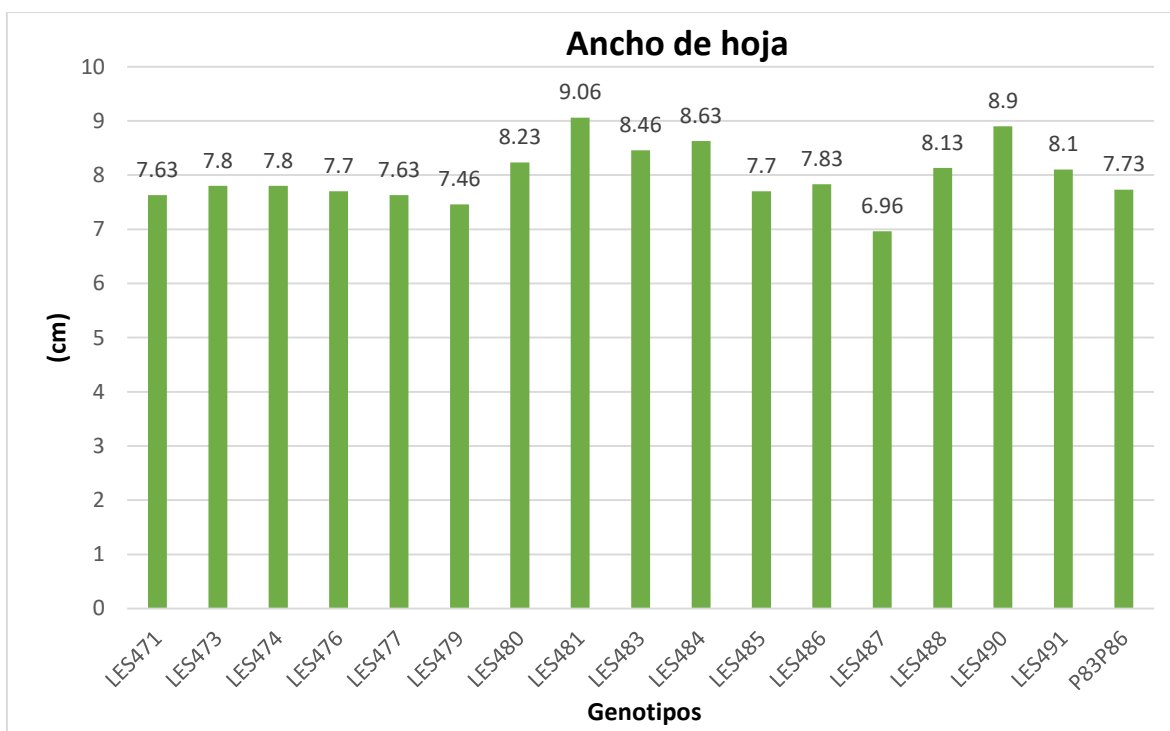
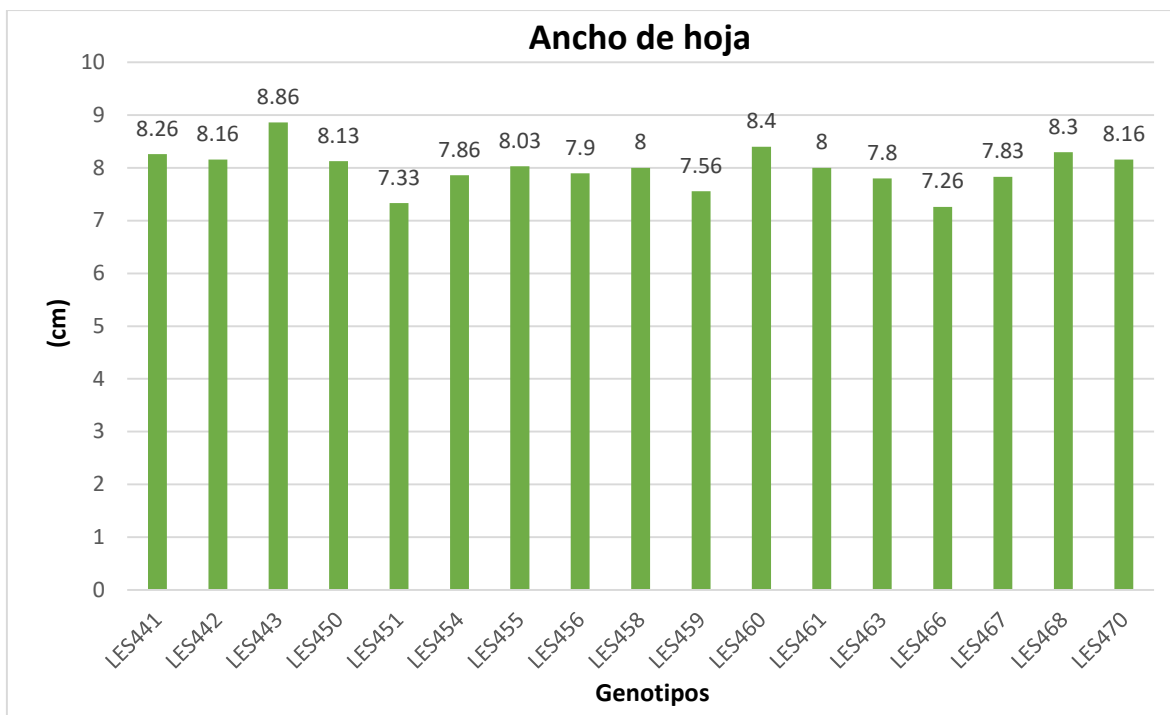
**Figura 17.** Comparación de medias, para la variable longitud de hoja (cm) de Líneas Experimentales de Sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2019 en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila.

#### **4.6. Ancho de hoja**

En lo que respecta a la variable ancho de hoja de acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 6), no existió diferencias significativas entre los tratamientos. El rango de diferencia entre el promedio más alto y el más bajo, fue de 2.1 cm, por lo que se observaron plantas muy homogéneas respecto a esta variable.

El genotipo que presentó el promedio más alto para esta variable fue él LES-481 con 9.06 cm, seguido de los genotipos LES-490 y LES-443 con 8.90 cm y 8.86 cm, respectivamente. Mientras que los más bajos fueron LES-487 con 6.96 cm, LES-466 con 7.26 cm y LES-451 con 7.33 cm (Figura 18).

Cabe mencionar que existen diversos factores que pueden modificar el ancho de las hojas en el sorgo, por ejemplo, la disponibilidad de nutrientes en el suelo, la fertilización, disponibilidad de agua, condiciones de estrés, entre otros. Otro factor importante que puede influir en el ancho de las hojas es la densidad de siembra.



**Figura 18.** Comparación de medias, para la variable ancho de hoja (cm) de Líneas Experimentales de Sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2019 en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila.

#### **4.7. Diámetro de tallo**

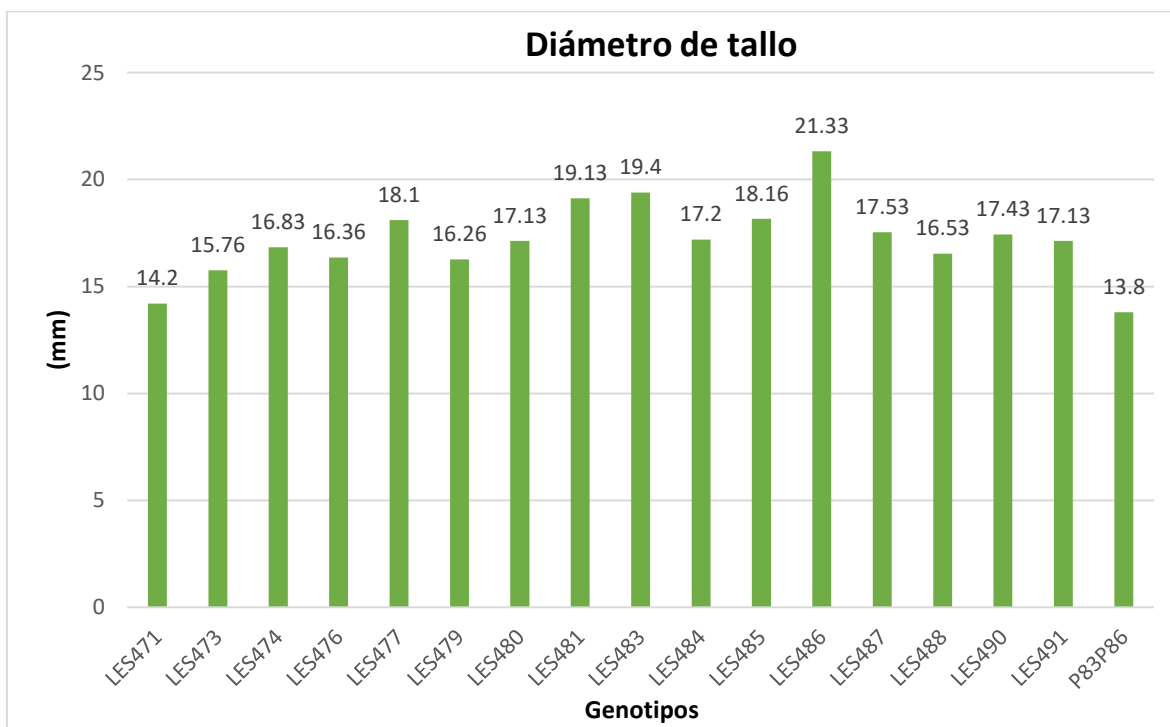
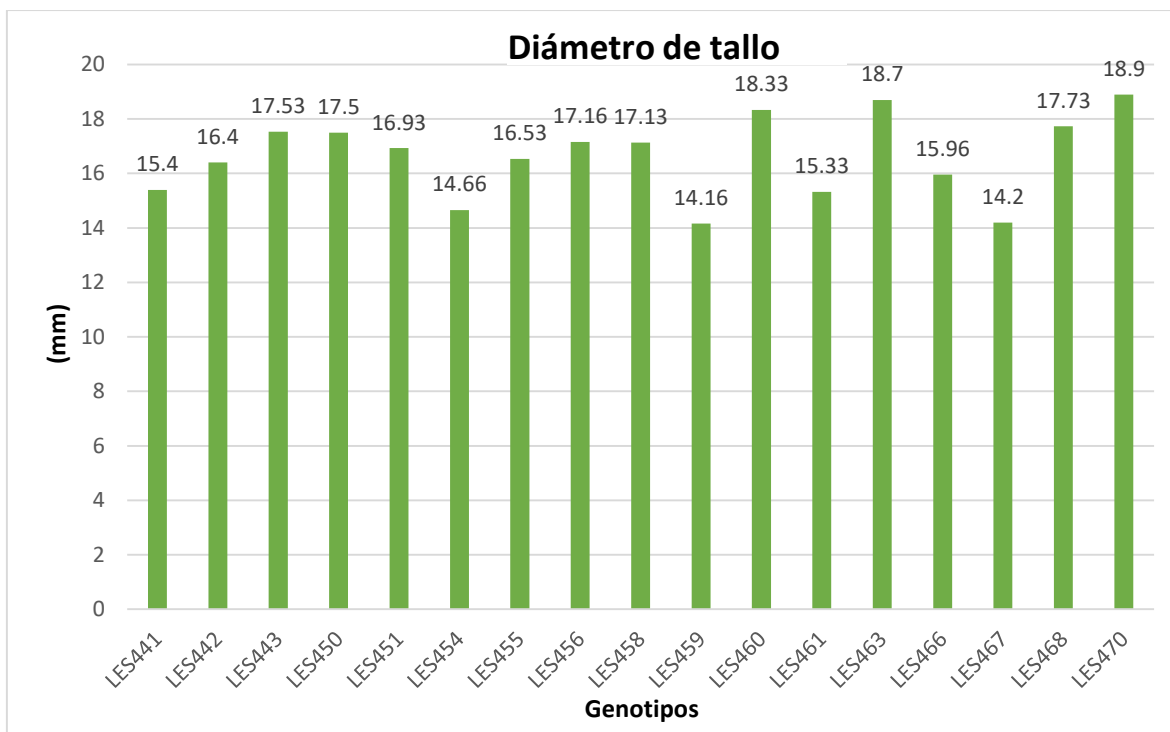
El análisis de varianza Cuadro 6, para la variable diámetro de tallo, muestra diferencias altamente significativas entre los genotipos evaluados.

En la Figura 19, la línea experimental de sorgo que presentó el menor promedio de diámetro de tallo, fue el híbrido testigo con 13.80 mm, seguido del LES-459 con 14.16 mm y el tercer promedio más bajo lo obtuvieron LES-471 y LES-467 con 14.2 mm, respectivamente.

En lo que respecta a los promedios más altos se encuentran LES-486 con 21.33 mm, LES-483 con 19.4 mm y LES-481 con 19.13 mm, respectivamente.

La diferencia que hubo entre el más alto LES-486 y el más bajo que fue el testigo de la empresa comercial, fue de 7.53 mm.

De acuerdo con Montes *et al.*, (2010) mencionan que, en el estado de Tamaulipas, en el cultivo de sorgo dulce RB Cañero, el tallo representa la mayor proporción de biomasa, teniendo en promedio el 79 % del peso total de la planta, mientras que sus hojas representan el 11.5 % y la panícula el 9.5 %, respectivamente.



**Figura 19.** Comparación de medias, para la variable diámetro de tallo (mm) de Líneas Experimentales de Sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2019 en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila.

#### **4.8. Incidencia de daño por aves**

Para la variable incidencia de daño por aves, se presentó una alta significancia entre los tratamientos de acuerdo al cuadro del análisis de varianza (Cuadro 6). Cabe mencionar que esto se debe a que hubo genotipos con un daño del 100% y también genotipos en los que no se presentó daño.

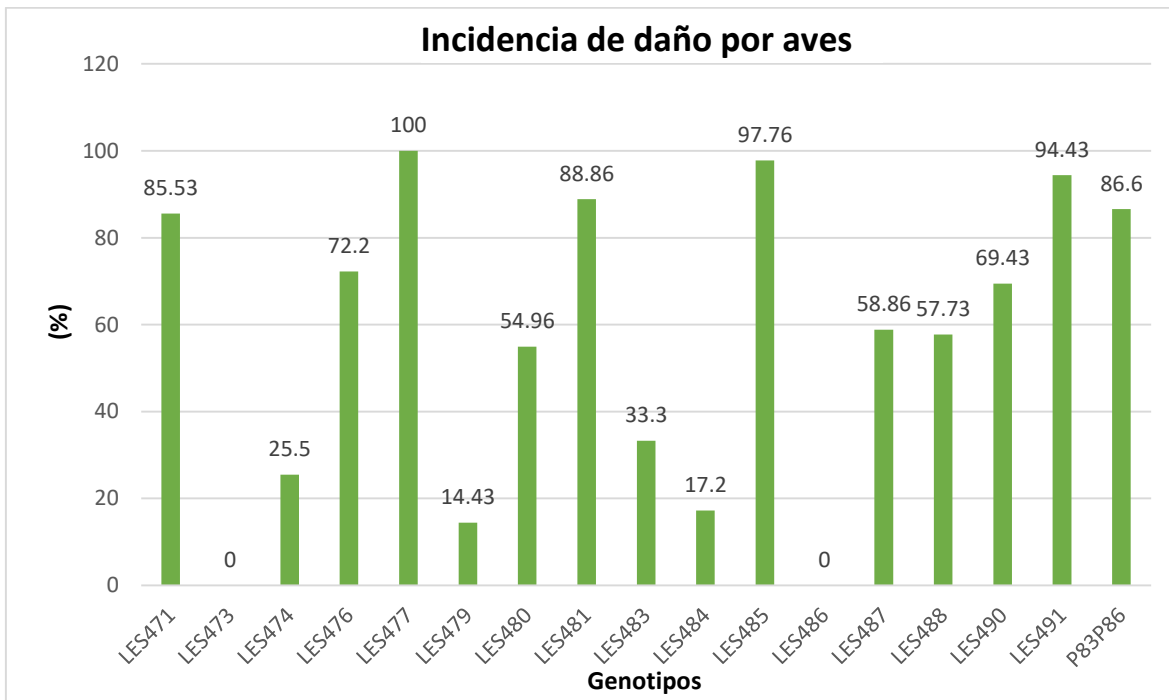
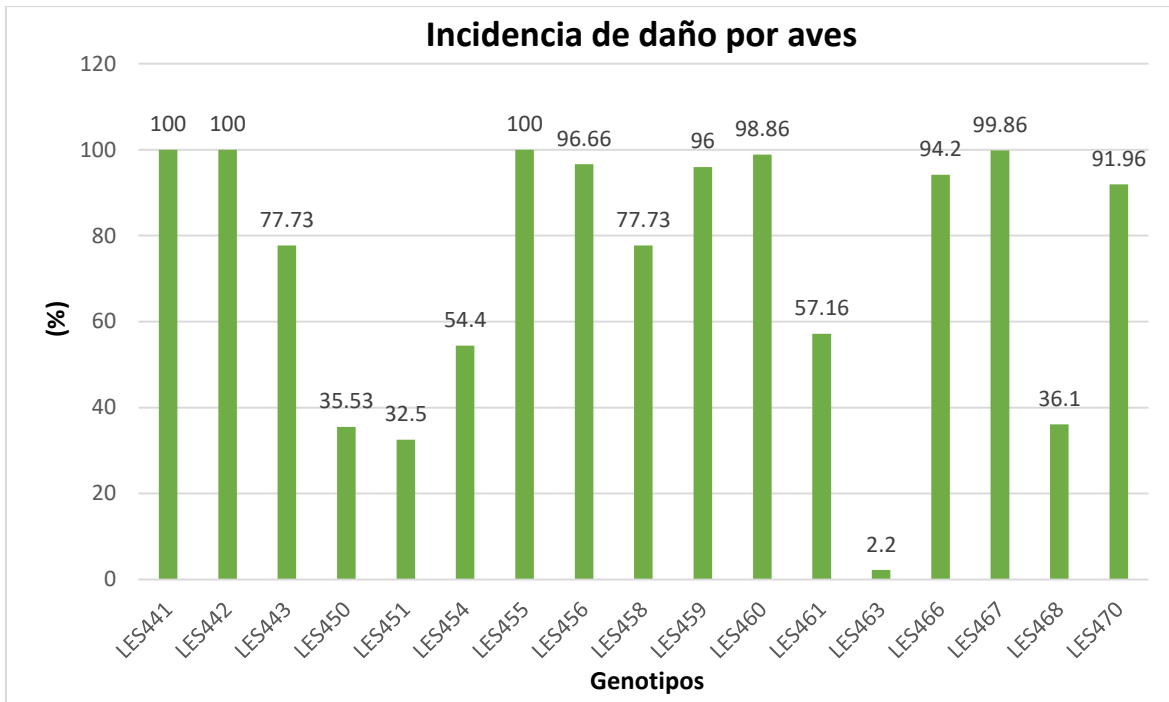
En el trabajo de investigación se presentaron cuatro genotipos que tuvieron un porcentaje del 100% de daño causado por aves, las cuales fueron LES-441, LES-442, LES-455 y LES-477 (Figura 20). Así también, hubo genotipos con un alto porcentaje de daño, como lo es el caso de LES-460 y LES-467 con 98.86% y 99.8%, respectivamente.

Respecto a los genotipos con más bajo porcentaje, fueron los que no tuvieron daño por aves, LES-486 y LES-473, seguidos por LES-63 con 2.2%.

El cultivo del sorgo es atacado por aves, debido a su sabor y contenido nutricional del grano, pero también no solo por sus recursos que estos ofrecen, sino también por el fácil acceso que estos tienen a sus panículas (Manikovski y Camara, 1979; Bullard, 1988). El ataque de aves es más constante en la etapa de grano lechoso.

Una de las alternativas que se han utilizado para combatir este problema es la utilización de variedades con alto contenido de taninos. Sin embargo, este compuesto químico, le confiere bajo valor nutricional (Coelho, 2006), deterioro del sabor (Bullard, 1988; Magalhães *et al.*, 2009) y devaluación en el mercado de cereales (Price *et al.*, 1979).

Coello (2006) menciona que solo los sorgos de color café son los que presentan altos contenidos de taninos, por lo cual son menos atacados por aves.



**Figura 20.** Comparación de medias, para la variable índice de daño por aves (%) de Líneas Experimentales de Sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2019 en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila.

#### **4.9. Incidencia de enfermedades foliares**

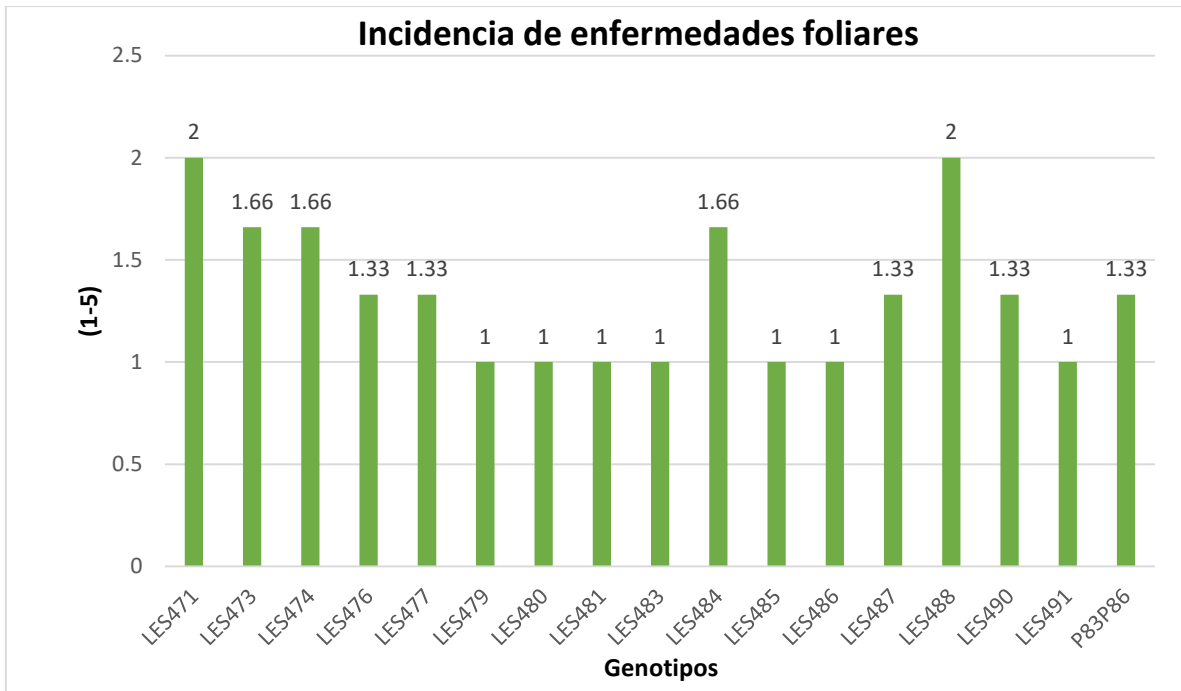
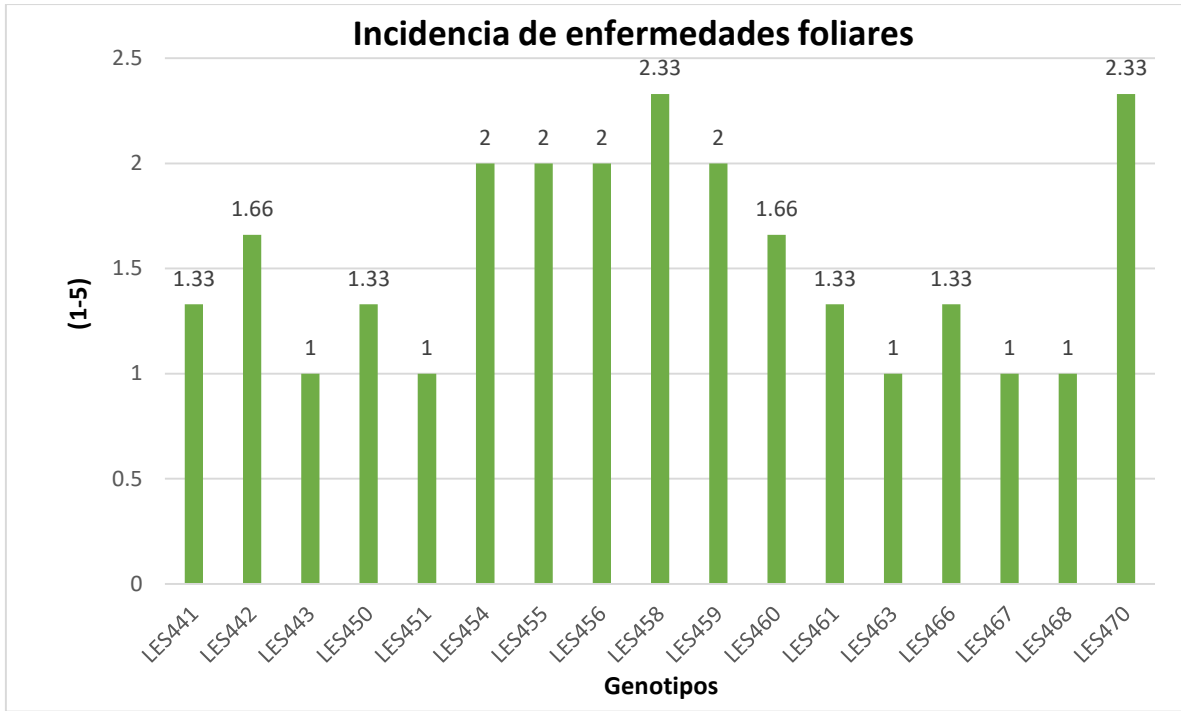
En general, todos los genotipos no fueron afectados por la incidencia de enfermedades foliares, ya que ninguno llegó a un valor de 5, de acuerdo a la escala utilizada en la evaluación de esta variable.

En la Figura 21, se muestran los genotipos que presentaron mayor incidencia por enfermedades, los cuales fueron LES-458 y LES-470 con un valor de 2.33 en la escala de evaluación utilizada.

El promedio más bajo, lo presentaron 12 genotipos que registraron un valor de 1 (Figura 21), en donde la incidencia por enfermedades fue nula. El híbrido comercial, utilizado como testigo presentó una incidencia de 1.33, lo cual nos dice que no tuvo mucho daño por incidencia de enfermedades.

La presencia de enfermedades foliares en el cultivo de sorgo es un problema importante en el sur de Tamaulipas (Williams, 2002; Díaz y Montes, 2008). El ataque de este tipo de enfermedades puede resultar en la defoliación prematura de la planta, la reducción del contenido de azúcar en el tallo y la disminución del rendimiento de grano.





**Figura 21.** Comparación de medias, para la variable incidencia de enfermedades foliares (1-5) de Líneas Experimentales de Sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2019 en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila.

#### **4.10. Grados brix**

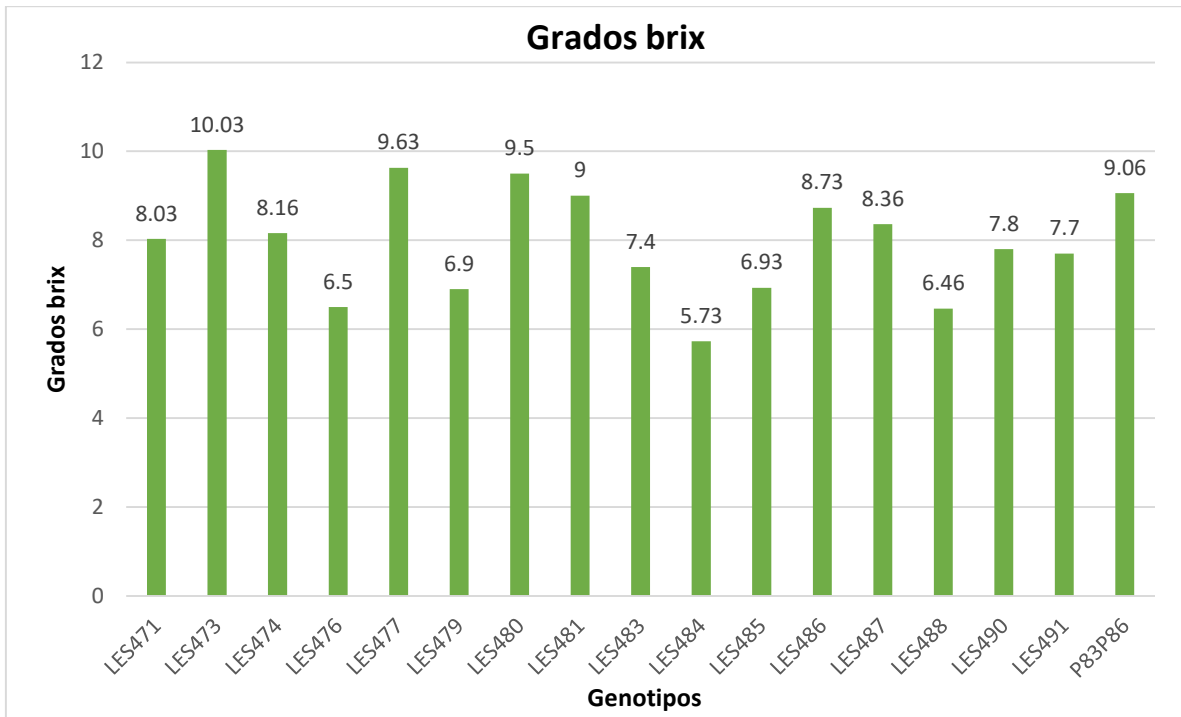
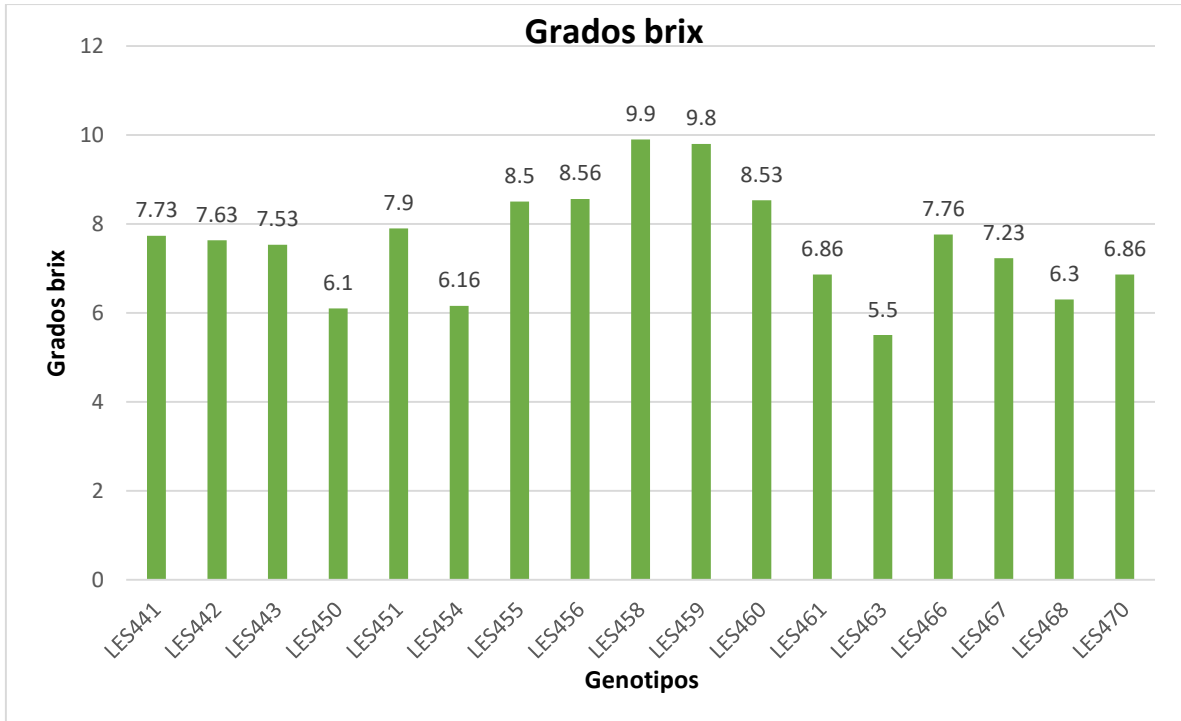
De acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 6), no hubo significancia para la variable grados brix. El rango de diferencia, entre el genotipo con más contenido de azúcares y el de menor contenido fue de 3.93.

En la Figura 22, podemos observar que el genotipo LES-473 fue el que tuvo mayor contenido de sólidos solubles totales con 10.03, seguido de LES-458 con 9.9 y LES-459 con 9.8. Por otra parte, el genotipo que presentó el promedio más bajo fue LES-463 con 5.5 seguido de LES-484 con 5.73 y LES-450 con 6.1, respectivamente.

El híbrido de la empresa comercial, utilizado como testigo presentó un promedio de 9.06 habiendo nada más una diferencia de 0.97 con el genotipo del promedio más alto LES-473, lo cual nos dice que el híbrido en cuanto a esta variable estuvo muy bien ya que acumuló un buen porcentaje de azúcares.

El sorgo es más conocido como cereal, pero las variedades dulces pueden tener un alto contenido de azúcares, debido a que tienen una alta fotosíntesis y de ellos se puede elaborar bioetanol.

Los resultados son similares a los obtenidos por Valadez (2011), quien trabajó con las variedades M81E y Fortuna en la región huasteca tamaulipeca. En su investigación, realizó cuatro muestreos para la variable contenido de azúcares (grados brix) en el cual los promedios más altos los encontró en el muestreo número dos (15 días después de floración) en donde la variedad M81E, presentó 9.05 y la variedad Fortuna 13.15, respectivamente. Comparando los resultados de esta investigación, se reporta que no hay gran diferencia entre las dos variedades evaluadas, con las líneas experimentales de sorgo de esta investigación, ya que sus promedios más altos fueron de 9.05 y 13.15, siendo Fortuna el genotipo que registró un mayor promedio.



**Figura 22.** Comparación de medias, para la variable grados brix de Líneas Experimentales de Sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2019 en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila.

#### **4.11. Rendimiento de grano en gramos por planta**

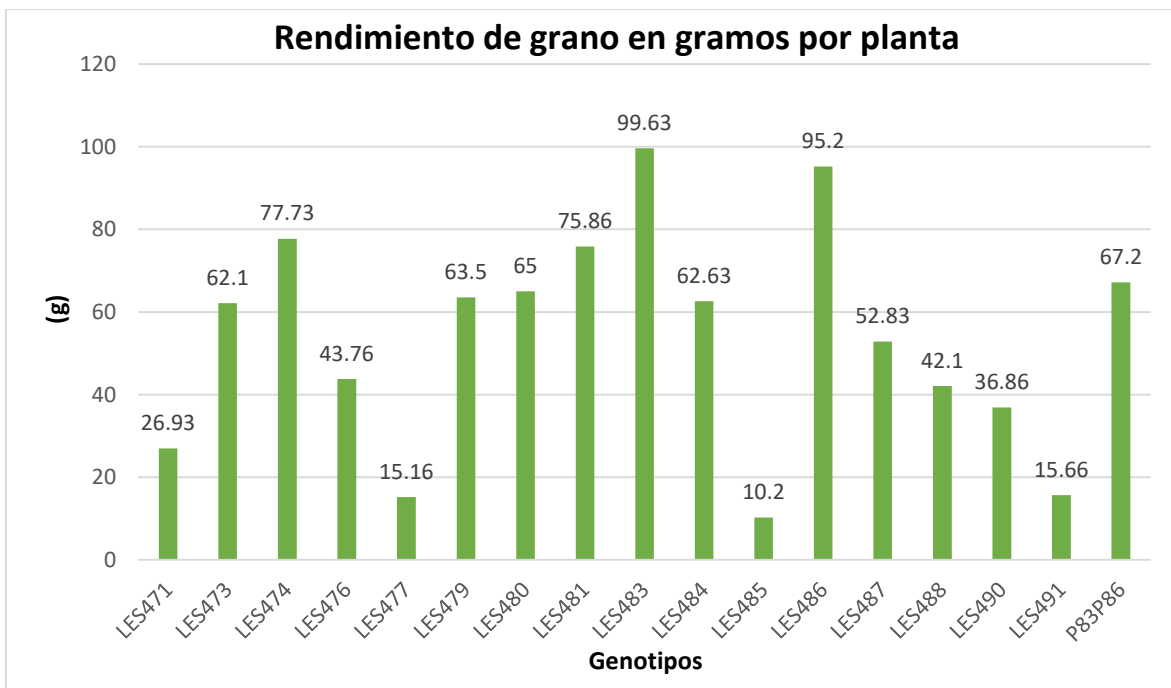
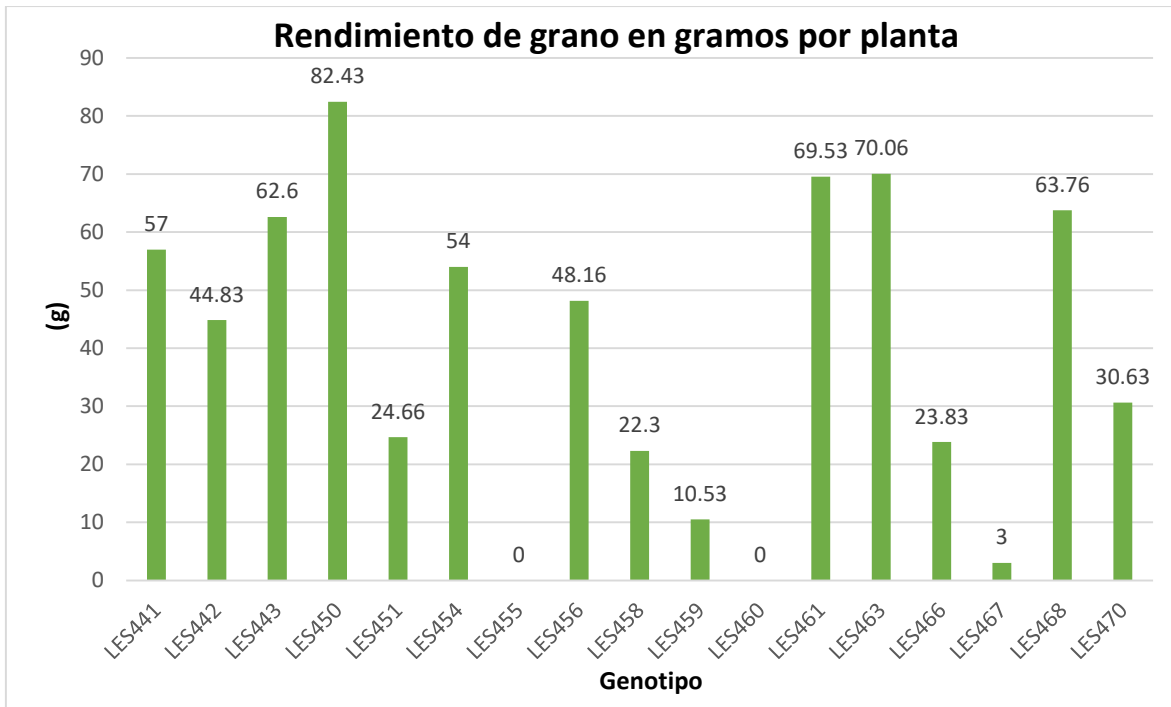
En el Cuadro 6, se observa que los resultados muestran diferencias altamente significativas, para rendimiento de grano de sorgo por planta.

Como se observa en la Figura 23, las líneas experimentales de sorgo que promediaron los rendimientos más altos fueron LES-483, LES-486 y LES-450 con promedios de 99.63 g, 95.2 g y 82.43g, respectivamente. En contraparte, dos líneas experimentales, no promediaron ningún valor, las cuales fueron LES-460 y LES-455, debido a que presentaron una incidencia de daño por aves del 99 y 100%, respectivamente. Otra línea, que presentó un promedio muy bajo fue LES-467 con 3 g, debido a la causa antes mencionada. El híbrido testigo, presentó un rendimiento de 67.2 g.

Para esta variable, cabe mencionar que existen genotipos que registraron promedios de bajo rendimiento y a su vez, para la variable, incidencia de daños por aves reportaban un promedio de daño del 100%, tal es el caso de los genotipos con denominación LES-441, LES-442 y LES-447. Esto se debe, a que al realizar el registro de los datos en campo se observaron incidencias de daños del 100%, en la mayor parte de la parcela experimental, pero algunas panículas presentaban grano, ya que no habían sido atacadas en su totalidad por las aves y por lo tanto, se obtuvieron promedios bajos, para esta variable evaluada.

Los rendimientos obtenidos en el presente trabajo, no son similares a los encontrados por Jabereldar *et al.*, (2017), quienes reportaron promedios de 25.1 g a 61.5 g por planta en genotipos de sorgo cultivados en dos ciclos agrícolas.

Las líneas experimentales utilizadas en esta investigación, se encuentran en proceso de mejoramiento, por lo tanto, existe segregación en las plantas evaluadas, y a su vez, presentan características agronómicas diferentes, ya que, al ser una población heterogénea de plantas, pueden presentar diferencias en el contenido de compuestos bioactivos en el grano, como es la presencia de taninos.



**Figura 23.** Comparación de medias, para la variable rendimiento de grano en gramos por planta (g) de Líneas Experimentales de Sorgo, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2019 en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila.

## V. CONCLUSIONES

Se encontraron líneas experimentales con capacidad de adaptación al ambiente evaluado y un aceptable rendimiento de grano.

La línea experimental de sorgo que presentó el mejor rendimiento de grano fue LES-483 con un promedio de 99.63 gramos por planta. Esta línea también presenta aceptables características para las variables agronómicas; días a floración, longitud de exersión, longitud de panícula, longitud de hoja, ancho de hoja, diámetro de tallo, poca incidencia de daños por aves, y a su vez, no fue atacada por enfermedades y con un aceptable contenido de grados brix.

La línea experimental con denominación LES-486, fue la que presentó el segundo mejor promedio con 95.2 g de rendimiento de grano. Incluso, para las variables: grados brix, incidencia de daños por aves, diámetro de tallo, longitud de hoja y altura de planta, registro un promedio más alto que LES-483.

Por lo tanto, se concluye que las líneas experimentales de sorgo con denominación LES-483 y LES-486, fueron las que presentaron mejor potencial de rendimiento de grano y un buen comportamiento agronómico en el ambiente evaluado. Por lo anterior, se recomienda continuar con el proceso de mejoramiento, mediante la selección de estas líneas de sorgo en próximos ciclos agrícolas en el ambiente de la región sureste de Coahuila.

## VI. LITERATURA CITADA

- Acosta, S. (1997). Sorghum ergot in México. In: U. S. Conference on Sorghum Ergot. Amarillo, Texas. June 11. Pp: 7-8
- Alexis Morell Acosta, Adis Martha Expósito Caballero y Raquel Ruz Reyes. (2018): "El Sorgo. Una Alternativa económica Y sostenible De alimento en El Municipio Jobabo.", Revista DELOS Desarrollo Local Sostenible n. 31(febrero 2018). En línea:<https://www.eumed.net/rev/delos/31/alexis-morell.html//hdl.handle.net/20.500.11763/delos31alexis-morell>
- Andrews, K. y Quezada, J. (1989). Manejo Integrado de plagas insectiles en la agricultura: Estado actual y futuro. Escuela Agrícola Panamericana .El zamorano. Honduras. C. A. 134-138 p.
- 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.
- Blade. Energy Crops. (2010). Managing High–Biomass Sorghum as a Dedicated Energy Crop. Disponible en: [http://www.bladeenergy.com/Bladepdf/Blade\\_SorghumMgmtGuide2010.pdf](http://www.bladeenergy.com/Bladepdf/Blade_SorghumMgmtGuide2010.pdf). Accesado: 27 Julio 2011.
- Blum, A. (2004). Sorghum physiology. In: H. T. Nguyen, ed. Physiology and biotechnology integration for plant breeding. New York: Marcel Dekker Inc. p. 141-223.
- Bond, J.; Allen, E.; Capehart, T. & Hansen, J. (2015). *US Sorghum markets in transition: trade policies drive export*. USA: USDA.
- Bullard, R. (1988). Characteristics of birdresistance in agricultural crops. Proc. Vertebr. Pest Conf. 13: 304-309.

- Caamal, I.C. & Ávila, D.J.A. (2004). Sorgo granífero. Monografías. En línea: <http://www.monografias.com/trabajos/sorgo/sorgo.shtml>. [Consulta: 16/2/08].
- CENTA. (2007). Guía técnica del sorgo. Consultado en agosto del 2020. Sitio web: <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/GUIA%20TECNICA%20SORGO.pdf>
- Cisneros-López, ME; Mendoza-Onofre, LE; Gonzalez-Hernández, VA. (2012). Male parent effects on stigma receptivity and seed set of sorghum A-lines under chilling field temperatures. *Plant Breeding* 131(1):88-93.
- Coelho, C.M. (2006). Los taninos en la alimentación de las aves comerciales. *Ciência Animal Brasileira* 1(1): 5-22.
- Compton, LP. (1990). *Agronomía del Sorgo*. San Andrés. CENTA. El Salvador. 97-104 p.
- Cortez Mondaca Edgardo. (2018). Manejo del pulgón amarillo en sorgo. 31 de enero del 2021, de PANORAMA Agro.com Sitio web: <https://panorama-agro.com/?p=3163>
- Cureton, P., Fasano, A., (2009). In *Gluten-free food science and technology*.
- Duke, J. (1983). *Sorghum X alnum Parodi*. Handbook of energy crops. [En línea]: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke-energy/Sorghum-Xalnum.html>. [Consulta: 8/8/05].
- FAO. (1997). *La economía del sorgo y del mijo en el mundo: hechos tendencias y perspectivas*. Consultado en agosto del 2020. Sitio web: <http://www.fao.org/3/w1808s/w1808s00.htm#Contents>
- FAO. (1980). *Introducción al control integrado de las plagas y enfermedades del sorgo*, Roma. 132 p.



- FAO. (1991). Producción y utilización del sorgo. El sorgo y el mijo en la nutrición humana. Ed. FAO. U.S.A. pp 17-25.
- FAO. (2013). Producción agrícola. División de Estadísticas de la FAO. Roma, Italia.
- Félix Moreno José Guadalupe. (2009). Guía del cultivo del sorgo para grano en el norte de Sinaloa. 31 de enero del 2022, de Fundación Produce Sinaloa A.C. Sitio  
web:file:///C:/Users/NajeraRa/Downloads/Guia%20tecnica%20para%20la%20produccion%20de%20sorgo%20(1).pdf
- FIRA. (2019). Panorama Agroalimentario. Consultado en agosto del 2020. Sitio web: [https://www.inforural.com.mx/wp-content/uploads/2019/06/Panorama Agroalimentario-Sorgo-2019.pdf](https://www.inforural.com.mx/wp-content/uploads/2019/06/Panorama-Agroalimentario-Sorgo-2019.pdf)
- Flores-Naveda, A., C.G.S. Valdés-Lozano, F. Zavala-García, E. Olivares-Sáenz, A. Gutiérrez-Díe, y M.E. Vázquez-Badillo. (2013). Comportamiento agronómico de líneas para la producción de semilla de sorgo. Agron. Mesoam. 24:119-131.
- Forrateg. (2015). Requerimientos edafoclimáticos en el cultivo de sorgo. Consultado en agosto 2020. Sitio web: [https://forrateg.com.ar/newsletter/00\\_responsive/fls-2015-11-07.html](https://forrateg.com.ar/newsletter/00_responsive/fls-2015-11-07.html)
- FPC. (2008). Procedimiento del mejoramiento genético en sorgo. Consultado en agosto del 2020. Sitio web: <https://www.fps.org.mx/portal/index.php/notas/599-procedimiento-del-mejoramiento-genetico-en-sorgo>
- FREDERIKSEN R.A. (1986). Compendium of Sorghum diseases. APS Press, St. Paul, MN. 82 p.

- García, JC; Guiragossian, V. (1985). Producción de semilla genética y básica de sorgo. In Taller Producción de Semilla de Sorgo en América Latina, El Batán, Estado de México. p. 82-97.
- 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>
- House, LR. (1985). A guide to sorghum breeding. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 2 ed. Patancheru. Andhra Pradesh, India. 206 p.
- ICRISAT. (2020). (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics). Consultado en agosto del 2020. Sitio web: <https://www.icrisat.org/tag/sorghum/>
- INTA. (2011). Manual de sorgo. Ministerio de Asuntos Agrarios, Buenos Aires, La Provincia. 112 p.
- INTA. (2011). Manual de sorgo. Ministerio de Asuntos Agrarios, Buenos Aires, La Provincia. 7 p.
- Intagri. (2016). El Momento Oportuno para el Control del Gusano Cogollero Extraído de [https://www.intagri.com/articulos/fitosanel momento oportuno para el control del gusano cogollero](https://www.intagri.com/articulos/fitosanel-momento-oportuno-para-el-control-del-gusano-cogollero). 31 de enero del 2022, de Intagri Sitio web: <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/el-momento-oportuno-para-el-control-del-gusano-cogollero>
- Jabereldar, A. A., A. M. El Naim, A. A. Abdalla, and Y. M. Dagash. (2017). Effect of water stress on yield and water use efficiency of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in semi-arid environment. International Journal of Agriculture and Forestry 7(1): 1-6. <https://doi:10.5923/j.ijaf.20170701.01>

- Jambunatham R.; V. Subramain. (1995). El sorgo y el mijo en la Nutrición Humana, Producción y Utilización. FAO-ICRISAT, Cap. 1, 2, 3, 4, 5 y 6. Pp1-26.
- Kimber, Clarissa T.; Dahlberg, J. A. & Kresovich, S. (2013). The genepool of Sorghum bicolor and its improvement. In: A. H. Paterson, ed. Genomics of the Saccharinae. New York: Springer. p. 23-42.
- Magalhães, P.C., F.O.M Durães y J.A.S. Rodrigues. (2009). Cultivo de sorgo. Sistemas de produção 2. [http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo\\_4\\_ed/ecofisiologia.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_4_ed/ecofisiologia.htm) (consulta del 3/12/2010).
- Manikovski, S. y M. Camara-Smeets. (1979). Estimación del daño de las aves al sorgo y el mijo en Chad. J. Wildl. Gestionar 43(2): 540-544.
- Martín H.J. (1975). Histori y clasificación de los sorgos. Producción y uso del sorgo. Ed. J. S. Wall y W. Ross. Editorial París. Pp 3-18.
- Mendoza Onofre, Leopoldo; Cisneros López, Ma. Eugenia; Galicia Juárez, Marisol y Hernández-Martínez, Miguel. (2017). Líneas mantenedoras (líneas B) y restauradoras (líneas R) de sorgo granífero adaptadas a los Valles Altos Centrales de México. Revista Fitotecnia Mexicana, Vol. 40 (1): 107 - 110, 2017. Recuperado en 30 de agosto de 2020, de <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/40-1/12a.pdf>
- Montes García, Noé; Williams, Alanís Héctor; Arcos Cavazos, Gerardo; Vargas Valero, Eloy; Pecina Quintero, Víctor y Espinosa Ramírez, Martín. (2014). RB-Norteño, sorgo de grano para áreas con sequía. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(spe7), 1337-1342. Recuperado en 26 de agosto de 2020, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342014001100008&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014001100008&lng=es&tlng=es).
- Montes García, Noé, Williams Alanis, Héctor, Arcos Cavazos, Gerardo, Pecina Quintero, Víctor, Garza Caballero, Manuel de la, Moreno Gallegos, Tomás, & Vargas Valero, Eloy. (2014). RB-Huasteco, sorgo de grano para áreas de

riego y temporal. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(spe7), 1331-1335. Recuperado en 21 de enero de 2022, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342014001100007&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014001100007&lng=es&tlng=es).

Montes, G.N., Pecina, Q.V., Cisneros, L. M.E., y García, G.M.A. (2010). RB Cañero: Sorgo dulce [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] para la producción de etanol. Folleto técnico No. 43, 31 p.

Murty, UR. (1999). Hybrid seed production in sorghum. In heterosis and hybrid seed production in agronomic crops. Ed. A. S. Barsa. Haworth Press, Inc. USA. p. 119-148.

OSIAP. (2019). Manejo Emergente de Gusano Soldado. 31 de enero del 2022, de SENASICA Sitio web: [http://osiap.org.mx/senasica/sites/default/files/Gusano%20Soldado\\_1.pdf](http://osiap.org.mx/senasica/sites/default/files/Gusano%20Soldado_1.pdf)

Pérez, A; Saucedo, O; Iglesias, J; Wencomo, H.B; Reyes, F; Oquendo, G y Milia, I. (2010). Caracterización y potencialidades del grano de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). En revista Pastos y Forrajes, Vol. 33, N.1, marzo 2010, p.74.

Poehlman, J. M. (2005). Mejoramiento genético de las cosechas. 2ª. Edición. Editorial, Limusa. México, D. F.

Poehlman, JM. (2005). Mejoramiento genético de las cosechas. 2 ed. Editorial Limusa. D.F., México. 511 p.

Price, M., A. Stromberg y L. Butles. (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(6): 1270-1274.

Rao, NGP. (2002). Sorghum in evolution and adaptation of cereal crops. Sci. Pub. Inc. E. New. Hampshire. USA. p. 214-238.

- Reyes Carlos. (2015). Pudrición por antracnosis - *Colletotrichum graminicola*. 31 de enero del 2022, de PANORAMA Agro.com Sitio web: <https://panorama-agro.com/?p=760>
- Río Montes Víctor. (2016). Manual de Plagas y Enfermedades en Sorgo. 31 de enero del 2022, de SILO.TIPS Sitio web: <https://silo.tips/download/manual-de-plagas-y-enfermedades-en-sorgo#>
- Rodríguez, A.N. et al. (2006) Agricultura Urbana: Una expresión de la agricultura agraria cubana. En: Las Investigaciones agropecuarias en Cuba cien años después. Editorial Científico-Técnica. La Habana, Cuba. p. 115.
- Rooney, L. y Serna-Saldívar, S. (2000). Sorghum. En: Handbook of Cereal Science and Technology, (Kulp, K., Ponte, J., eds.). Marcel Dekker, New York, USA.
- Ryley MJ, Persley DM, Jordan DR, Henzell RG. (2002). Status of sorghum and pearl millet diseases in Australia. In: Leslie JF (ed) Sorghum and millet diseases. Iowa State Press, Ames, pp 441– 448
- Saballos, A. (2008) Development and Utilization of Sorghum as a Bioenergy Crop. En: Genetic Improvement of Bioenergy Crops, (Vermerris, W., ed.), Pp 211– 248. Springer. USA.
- SENA. (1990). El cultivo del sorgo. Consultado en agosto del 2020. Sitio web: [https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/4097/1/el\\_cultivo\\_sorgo.PDF](https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/4097/1/el_cultivo_sorgo.PDF)
- Serna-Saldívar, S. (2010). Cereal Grains: Properties, Processing, and Nutritional Attributes. CRC Press. Boca Raton, FL.
- SIAP. (2022). Producción nacional de sorgo para grano. Consultado en enero del 2022. Sitio web: [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do)

- SNICS. (2007). Ley Federal de Producción, Certificación y Comercio de Semillas. Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación. 15 de Junio, 2007. México, D.F. 17 p.
- Taylor, J.R.N., Schober T.J. y Bean S.R. (2006). Novel food and non food uses for sorghum and millets. *Journal of Cereal Science* 44, 252–271.
- Torres, M. J. H., 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.
- Turhollow, A.F., Webb. E.G. y Downing, M.E. (2010). Review of Sorghum Production Practices: Applications for Bioenergy. Oak Ridge National Laboratory. Department of Energy. Disponible en: <http://info.ornl.gov/sites/publications/files/Pub22854.pdf>. Accesado 19 julio 2011.
- United Sorghum Checkoff Program. (2016). Crecimiento y desarrollo. Consultado en agosto del 2020. Sitio web: <https://www.sorghumcheckoff.com/farmers/grain-production/growth-and-development>
- 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
- Valadez Gutiérrez, Juan; García, Julio Cesar; Zavala García, Francisco & Valle Rodríguez, Luis Lázaro. (2011). Producción de biomasa y concentración de azúcares de dos variedades de sorgo dulce en la región Huasteca Tamaulipeca. *Revista Científica UDO Agrícola* 11 (1): 58-70. 2011. Recuperado en 23 de enero del 2022, de <http://www.bioline.org.br/pdf?cg11006>
- Villeda, D.A. (2014). 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.

Williams, AH; Montes, GN; Pecina, QV. (2006). Campo Experimental Río Bravo: 50 años de investigación agropecuaria en el norte de Tamaulipas, Historia, Logros y Retos. Capítulo 3. Libro Técnico No. 1. INIFAP. Campo Experimental Río Bravo, Tamaulipas, México. 325 p.

Williams, H., N. Montes, y V. Pecina. (2006). Sorgo. En: 50 años de investigación agropecuaria en el norte de Tamaulipas, historia, logros y retos. Libro técnico No. 1. Campo Experimental Río Bravo, Instituto Nacional de investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Río Bravo, Tam., México. p. 33-54.

Williams, H., R. Rodríguez-Herrera, y N. Montes-García. (1995). 20 años de investigación en sorgo en el Campo Experimental Río Bravo. Germen 11:1-35.

Williams, H. (2002). Sorgo y mijo en México. En: JF Leslie, editor, Enfermedades del sorgo y el mijo. Prensa del Estado de Iowa, Ames, Estados Unidos. pags. 457-463.

Williams, H., V. Pecina, F. Zavala, y N. Montes. (2004). RB-Patrón, nuevo híbrido de sorgo para grano en el noreste de México. Rev. Fitotec. Mex. 27:291-293.

Zavala, F. G; Ortiz P. E.; García N. E; Salinas G. E; Gámez G.H. (2002). Mejoramiento Genético en Sorgo para Resistencia a Ergot. Revista Ciencia UANL, julio-septiembre. Universidad Autónoma de Nuevo León Monterrey, México pp. 322-327.

## VII. ANEXOS

**Croquis del experimento:**



**Fotografías de campo:**





