

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Descripción Varietal de Seis Genotipos de Sorgo (*Sorghum bicolor* L. [Moench])
con Propósito de Registro

Por:

NOÉ ALBERTO RAMÍREZ MEJÍA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Descripción Varietal de Seis Genotipos de Sorgo (*Sorghum bicolor* L. [Moench])
con Propósito de Registro

Por:

NOÉ ALBERTO RAMÍREZ MEJÍA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:



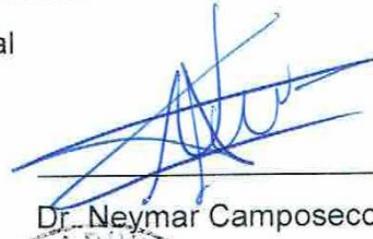
Dr. Antonio Flores Naveda

Asesor Principal



Dr. Josué Israel García López

Coasesor



Dr. Neymar Camposeco Montejo

Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel

Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2023

Declaración de no plagio

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

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



Noé Alberto Ramírez Mejía

DEDICATORIA

A “**Dios**” el dador de vida, que me ha ayudado en todo momento y que gracias a él he logrado concluir mi carrera universitaria.

A “**Mis Padres**” el Sr. Enobel Ramírez y la Sra. Micaelina Mejía, porque no hay palabras para expresar todo lo que me han dado, porque no tengo como pagarles todo lo que han hecho por mí, porque a pesar de la distancia, siempre han estado para apoyarme. Siempre serán mi ejemplo a seguir. **¡¡Son mi mayor AMOR!!**

A “**Mis Hermanos**” Monica (Moni), Yasmin (Yas), Magui, Genrri (Penpi), Sergio (Chequito) y Fredi (Chechito), a ellos dedico este gran logro en mi vida que, a pesar de todas las situaciones que como familia pasamos, siempre nos mantenemos unidos y hemos salido adelante; a pesar de todas esas peleas, siempre hay felicidad entre nosotros. En especial a mi hermana Moni, que ha sido un gran pilar durante todos estos años de mi carrera (sabes que cuentas conmigo en todo).

A “**Toda mi familia**” que en algún momento de mi vida me han ayudado a salir adelante como persona, con sus consejos y regaños.

A todos ellos, dedico este proyecto con mucho cariño y amor.

He aprendido que el triunfo ha de medirse no solo por la posición que uno ha alcanzado en la vida, sino por los obstáculos que ha tenido que superar al tratar de tener éxito.

“Booker T. Washington”

AGRADECIMIENTOS

A **“Dios”** por darme salud y vida para terminar esta etapa, por haberme acompañado y guiado siempre, por darme fortaleza en momentos de debilidad, por darme sabiduría en este proyecto que con mucho esfuerzo logre terminar; además, por darme una maravillosa familia que han sido muy importante en toda mi vida.

A **“Mis Padres”** el Sr. Enobel Ramírez y la Sra. Micaelina Mejía, mis más sinceros agradecimientos a quienes me han heredado el tesoro más valioso que puede dársele a un hijo, “AMOR”, a quienes, sin escatimar esfuerzo alguno, han sacrificado una gran parte de su vida para formarme y educarme desde la niñez; también por los sabios consejos que me han servido en mi día a día.

A **“Mi Alma Mater”** la poderosísima Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), por darme la fortuna de hacer realidad ese sueño que un día tuve y que hoy se están viendo los frutos de todo el gran trabajo dentro de esta gran institución. **¡BUITRE POR SIEMPRE!**

A **“Mis Hermanos”** Monica (Moni), Yasmin (Yas), Magui, Genrri (Penpi), Sergio (Chequito) y Fredi (Chechito), porque fueron el pilar de todo esto, ellos son mi motivo para lograr con éxito esta etapa, por todo su apoyo durante estos años en mi vida de estudiante, ya que se necesita de mucho valor para estar lejos de ellos y que a pesar de eso siempre hemos estado juntos, ante cualquier situación.

A **“Mis primos, tíos, abuela y toda mi familia”** que en algún momento me dieron palabras de motivación para echarle ganas a todos mis proyectos.

A **“Mis Amigos”** Karla, Gonzalo, Salomón, Romeo y Teresa, por todas las aventuras vividas en la universidad, fue de gran apoyo su amistad, por todas esas desveladas, convivencias, por esos días de jale en el bajío que gracias a ellos saque adelante este trabajo. Mucho cariño y afecto para ellos, con mucho cariño y afecto a todos ellos les deseo el mayor de los éxitos.

AL **“Dr. Antonio Flores Naveda”** por compartir sus conocimientos dentro del aula como Profesor, por haber creído y confiado en mí, para la elaboración de este trabajo de investigación; además, gracias por su amistad como persona (un gran amigo) y por todos sus consejos que en algún momento me dio.

A **“Mis Coasesores”**

Al Dr. Josué Israel García López

Al Dr. Neymar Camposeco Montejo

Al Dr. Perpetuo Álvarez Vazquez

Al Dr. Armando Muñoz Urbina

Por el apoyo, atención y participación en este trabajo de investigación, siendo ellos grandes Profesores de la Universidad.

Al **“Ing. Celin”** que gracias a él me enteré de la UAAAN y por su enseñanza en la preparatoria, un gran Profesionista y amigo.

A **“Eliu”** una gran persona y amigo que ha estado durante estos años de mi vida universitaria, ya que fue de gran apoyo desde el día que llegue a Saltillo.

A **“Dona Tere y su familia”** por abrirme las puertas de su hogar y permitirme ser parte de su familia, durante toda mi carrera; además, por sus buenos consejos que siempre los tomaré en cuenta.

A **“Lorenzo Villa”** un gran amigo y trabajador del Departamento de Fitomejoramiento de la UAAAN, que con su experiencia en el campo ayudó a sacar adelante este proyecto.

Al **“Ing. Rusbel (†) y su familia”** por su amistad y apoyo que me brindaron desde el primer día que llegué a Saltillo, ya que no es fácil estar lejos de casa.

A **“Mis maestros”** por sus consejos, experiencias y conocimientos impartidas desde las aulas durante estos casi cinco años.

A TODOS ELLOS, ¡¡MUCHISIMAS GRACIAS!!

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo general	2
1.1.2. Objetivos específicos.....	3
1.2. Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Origen del sorgo	4
2.2. Clasificación taxonómica.....	5
2.3. Importancia del sorgo a nivel mundial.....	5
2.4. Producción de sorgo en México.....	6
2.5. Usos del sorgo	8
2.6. Aspectos botánicos y morfológicos	10
2.7. Crecimiento y desarrollo de la planta	10
2.8. Regla para la calificación de semilla de sorgo (<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench.) 12	
2.9. Categorías y equivalencias de semillas	12
2.10. Descripción varietal	13
2.10.1. Importancia de la descripción varietal	13
2.11. Condiciones para la concesión del derecho de obtentor	14
2.12. Presentación de solicitudes	15
2.13. Derecho de prioridad	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1. Localización del sitio experimental.....	17
3.2. Material genético.....	17

3.3. Variables evaluadas.....	18
3.3.1. Variables o caracteres cualitativos	18
3.3.2. Variables o caracteres cuantitativos	24
3.4. Diseño experimental	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
V. CONCLUSIONES.....	44
VI. LITERATURA CITADA.....	45
VII. APENDICE	49

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del sorgo.....	5
Cuadro 2. Producción a nivel nacional del sorgo en la modalidad de riego más temporal, durante el año agrícola 2022.....	7
Cuadro 3. Producción a nivel nacional del sorgo en la modalidad de riego, durante el año agrícola 2022.	8
Cuadro 4. Producción a nivel nacional del sorgo en la modalidad de temporal, durante el año agrícola 2022.....	8
Cuadro 5. Etapas de crecimiento y desarrollo del sorgo y sus principales características.	11
Cuadro 6. Número y código de identificación de los seis genotipos de Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i> L. [Moench]).....	18
Cuadro 7. Descriptores cualitativos en plántula, planta y grano de los seis genotipos de sorgo evaluados, de acuerdo a las directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad UPOV TG/122/4.	29
Cuadro 8. Descriptores cualitativos en planta y grano de los seis genotipos de sorgo evaluados, de acuerdo a las directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad UPOV TG/122/4.	32
Cuadro 9. Descriptores cualitativos en planta y grano (etapa reproductiva) de los seis genotipos de sorgo evaluados, de acuerdo a las directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad UPOV TG/122/4.....	35
Cuadro 10. Descriptores cuantitativos en planta y grano de los seis genotipos de sorgo evaluados, de acuerdo a las directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad UPOV TG/122/4.	38
Cuadro 11. Cuadrados medios del análisis de varianza para variables agronómicas cuantitativas evaluadas a nivel de campo en seis genotipos de Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>) UAAAN Ciclo P-V 2022.	41
Cuadro 12. Análisis de varianza para las variables (contenido de Taninos y Peso de 1000 granos) evaluadas a nivel de laboratorio en seis genotipos de sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>) UAAAN. Ciclo P-V 2022.	41
Cuadro 13. Comparación de medias para las variables agronómicas (descriptores cuantitativos) evaluadas en seis genotipos de sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>), en el Campo Experimental “El Bajío” de la UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, ciclo P-V 2022.	42
Cuadro 14. Comparación de medias para las variables agronómicas (descriptores cuantitativos) evaluadas en seis genotipos de sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>), en el Campo Experimental “El Bajío” de la UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, ciclo P-V 2022.	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción mundial de sorgo en 2021/2022, por país líder (en miles de toneladas métricas).....	6
Figura 2. Volumen de producción de sorgo en grano en México de 2009 a 2022 (en miles de toneladas métricas).....	7
Figura 3. Etapas fenológicas de la planta de sorgo.....	11
Figura 4. Localización del sitio experimental.	17
Figura 5. Zona descolorida del nervio central.....	19
Figura 6. Crecimiento del estigma del sorgo.	20
Figura 7. Desarrollo de la flor de una planta de sorgo.....	20
Figura 8. Crecimiento de la arista en la flor del sorgo.	21
Figura 9. Posiciones de la panícula en la planta de sorgo.	22
Figura 10. Longitud de gluma en los granos de sorgo.	22
Figura 11. Formas en vista dorsal de un grano de sorgo.	23
Figura 12. Diferentes tamaños de la marca del germen en un grano de sorgo.....	23
Figura 13. Tipos de endospermo en el grano de sorgo.....	24

RESUMEN

El sorgo (*Sorghum bicolor* L. [Moench]) es un cultivo de gran importancia, debido a las bondades que presenta para adaptarse en ambientes que son desfavorables comparado con otros cereales; por lo tanto, es fundamental registrar nuevas variedades en programas de mejoramiento, por lo cual en el presente trabajo de investigación el objetivo principal fue realizar la descripción varietal a través de caracteres cualitativos y cuantitativos en planta de seis genotipos de sorgo en sus diferentes etapas fenológicas.

El material genético estudiado estuvo constituido por los genotipos: LES-UA-01, LES-UA-02, LES-UA-03, LES-UA-04, LES-UA-05, LES-UA-06 los cuales fueron proporcionados por el Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS) del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Los cuales se establecieron durante ciclo Primavera-Verano, 2022 en el Campo Experimental “El Bajío” de la UAAAN. En donde se evaluaron 27 caracteres cualitativos y 10 caracteres cuantitativos. Los datos se evaluaron bajo un diseño de bloques completos al azar para ocho de los diez caracteres cuantitativos y el diseño completamente al azar para contenido de taninos y peso de 1000 granos, evaluadas a nivel de laboratorio.

Los resultados de la descripción varietal en los seis genotipos evaluados a nivel de campo en sus diversas etapas crecimiento y desarrollo de la planta; la caracterización del grano en laboratorio, mediante descriptores cualitativos y cuantitativos, permitieron la distinción, homogeneidad y estabilidad de los genotipos de sorgo, lo cual permitió identificar la variabilidad genética de los genotipos en el ambiente de evaluación.

Palabras clave: *Sorghum bicolor*, descripción varietal, distinción, homogeneidad, estabilidad.

I. INTRODUCCIÓN

El sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) es un cereal de importancia económica que se cultiva a nivel mundial. Pertenece a la familia Poaceae que incluye algunos de los cultivos más importantes del mundo, como el trigo, maíz, arroz y cebada (Davidson *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2022).

Esta especie es un cultivo básico en África, América Central y el sur de Asia. Además, existe una gran demanda a nivel mundial de sorgo como alimento para animales (Xiong *et al.*, 2019).

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 áreas poco productivas utilizando especies que se adapten a ciertas condiciones. Se estima que para el 2050 el valor de la producción será de 450 millones de toneladas anuales, lo cual equivale a 220 kg/ha per cápita, por lo tanto, será necesario crear nuevas estrategias para obtener altos rendimientos (Pérez *et al.*, 2010). El cultivo se adapta a una amplia gama de ambientes, bajo condiciones desfavorables, comparado con otros cereales. Debido a su tolerancia a la sequía, se considera como el cultivo más apto para las regiones áridas y semiáridas, con distribución de lluvia errática (Suárez y Zeledón, 2003).

Por lo anterior, es muy importante generar nuevas variedades a través del mejoramiento genético, mediante selección, cruzamiento de líneas y formación de híbridos. A su vez, es importante la evaluación de los diferentes híbridos y variedades en distintas localidades, para poder validar los mejores genotipos y posteriormente continuar con su descripción varietal con fines de registro.

La importancia de la descripción varietal radica en el registro de una nueva variedad, ante organismos oficiales para promover su difusión y realizar adecuadamente su multiplicación, manteniendo su pureza genética; esto con la finalidad de ofrecer certeza al obtentor de una nueva variedad vegetal (Flores *et al.*, 2011).

De acuerdo a lo anterior, el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) es el organismo encargado de realizar la certificación, el cual consiste en verificar e inspeccionar las semillas para siembra, desde su origen, producción en campo, acondicionamiento y comercialización, todo lo anterior mediante estrictas normas de calidad y solamente las semillas que cubren los requisitos de alta calidad física, fisiológica, genética y fitosanitaria son certificadas (SNICS, 2018).

La descripción varietal en los cultivos de interés agrícola es de suma importancia, ya que al contar con semillas certificadas se garantiza la calidad y brinda certeza al agricultor. Por lo antes mencionado, se plantea el presente trabajo de investigación con los siguientes objetivos e hipótesis:

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Realizar la descripción varietal a través de caracteres cualitativos y cuantitativos en plantas de seis genotipos de sorgo en sus diferentes etapas fenológicas.

1.1.2. Objetivos específicos

- Realizar la descripción varietal en seis genotipos de sorgo, según las directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad de acuerdo a la guía técnica UPOV TG/122/4.
- Identificar las características de distintividad en seis genotipos de sorgo a través de la evaluación de caracteres cualitativos y cuantitativos en planta.

1.2. Hipótesis

- Hi. La evaluación de los caracteres cualitativos y cuantitativos en los seis genotipos de sorgo, permitirá determinar los parámetros para su distinción, homogeneidad y estabilidad.
- Ho. La obtención de los descriptores varietales de sorgo, no es factor determinante para determinar la uniformidad, estabilidad y distintividad de los seis genotipos de sorgo evaluados.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen del sorgo

El origen de este cultivo ha sido discutido a través de los años, ya que se plantea que procede del noreste de África, en la región de Etiopía, aunque se ubicó inicialmente en la India. Se introdujo en América en el siglo XVIII. Se considera que muchas especies distintas se cultivan de forma esporádica en países de América, y que los sorgos actuales son híbridos de esas introducciones o de mutaciones genéticas que se han presentado a través de los años (Pérez *et al.*, 2010).

El sorgo es una gramínea africana relacionada con la caña de azúcar y el maíz, se cultiva como alimento, pienso, fibra y combustible. La tolerancia a la sequía hace que el sorgo sea especialmente importante en regiones secas como el noreste de África (su centro de diversidad genética) y las llanuras del sur de los Estados Unidos (Paterson *et al.*, 2009).

Las principales organizaciones/países que mantienen los recursos genéticos del sorgo son el Instituto Internacional de Investigación de Cultivos para los Trópicos Semiáridos (ICRISAT) localizado en la India y el Sistema Nacional de Germoplasma Vegetal (NPGS) en Estados Unidos, Etiopía, Sudán, Sudáfrica, India y China, principalmente debido a los grandes programas de mejora de este cultivo.

La identificación de regiones geográficas funcionales con un conjunto de limitaciones, ha resultado en un cambio gradual en la estrategia de mejoramiento desde una amplia adaptabilidad inicial a adaptaciones específicas, y a un mejoramiento basado en rasgos para rasgos umbral a lo largo de los años de 1980 y 1990 (Sanjana, 2017).

2.2. Clasificación taxonómica

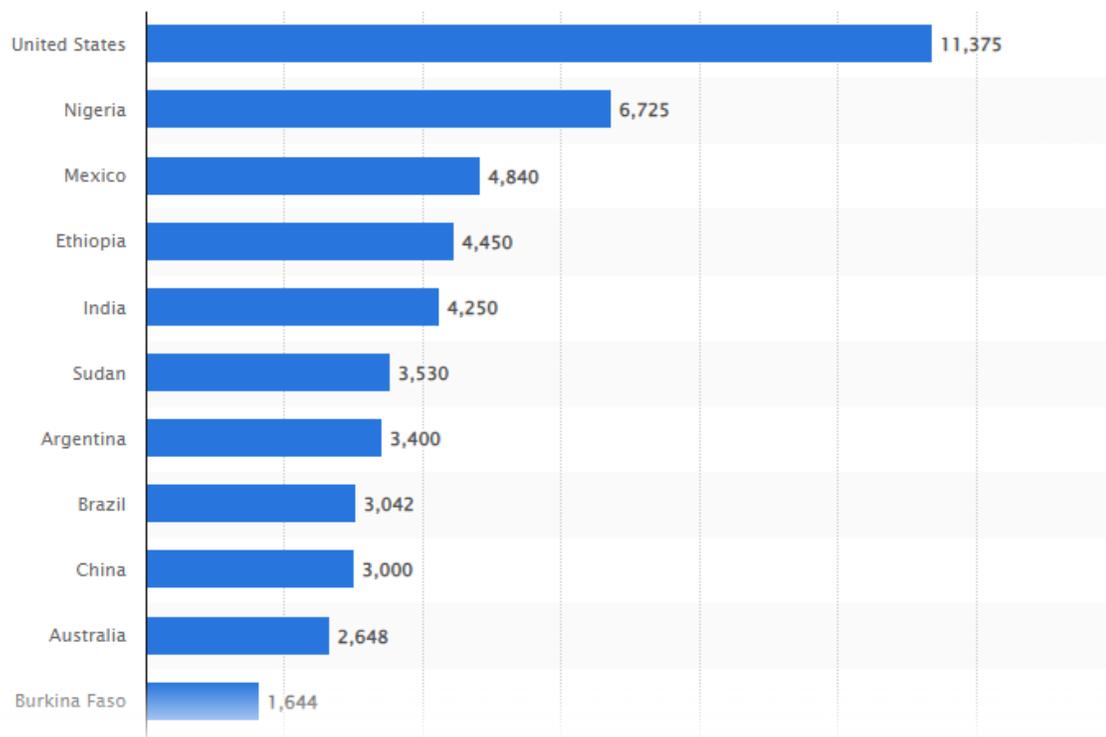
De acuerdo a Kimber (2000) el sorgo pertenece a la familia Poaceae y su taxonomía se presenta a continuación.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del sorgo.

Familia	<i>Poaceae</i>
Tribu	<i>Andropogoneae</i>
Subtribu	<i>Sorghinae</i>
Genero	<i>Sorghum</i> Moench
Subgénero	<i>Sorghum</i> <i>Chaetosorghum</i> <i>Heterosorghum</i> <i>Parasorghum</i> <i>Stiposorghum</i>
Especies del subgénero sorghum	<i>Sorghum propinquum</i> <i>Sorghum halepense</i> <i>Sorghum bicolor</i>
Subespecies de sp. S. Bicolor	<i>Sorghum bicolor bicolor</i> <i>Sorghum bicolor drummondii</i> <i>Sorghum bicolor verticilliflorum</i>
Razas de subsp. S. bicolor bicolor	<i>Bicolor</i> <i>Guinea</i> <i>Durra</i> <i>Kafir</i> <i>Caudatum</i>

2.3. Importancia del sorgo a nivel mundial

Este cultivo tiene gran importancia a escala mundial, pues está comprobado que puede sustituir cereales como el trigo y el maíz en la mayoría de los usos de estos, tanto en la alimentación humana como en la producción de forraje o grano para consumo de animales, y también en la industria. A su vez, posee alto potencial de producción de granos y buenas perspectivas para contribuir al desarrollo de la agricultura (Pérez *et al.*, 2010). En la Figura 2 se presentan estadísticas de producción de los principales países productores de sorgo.

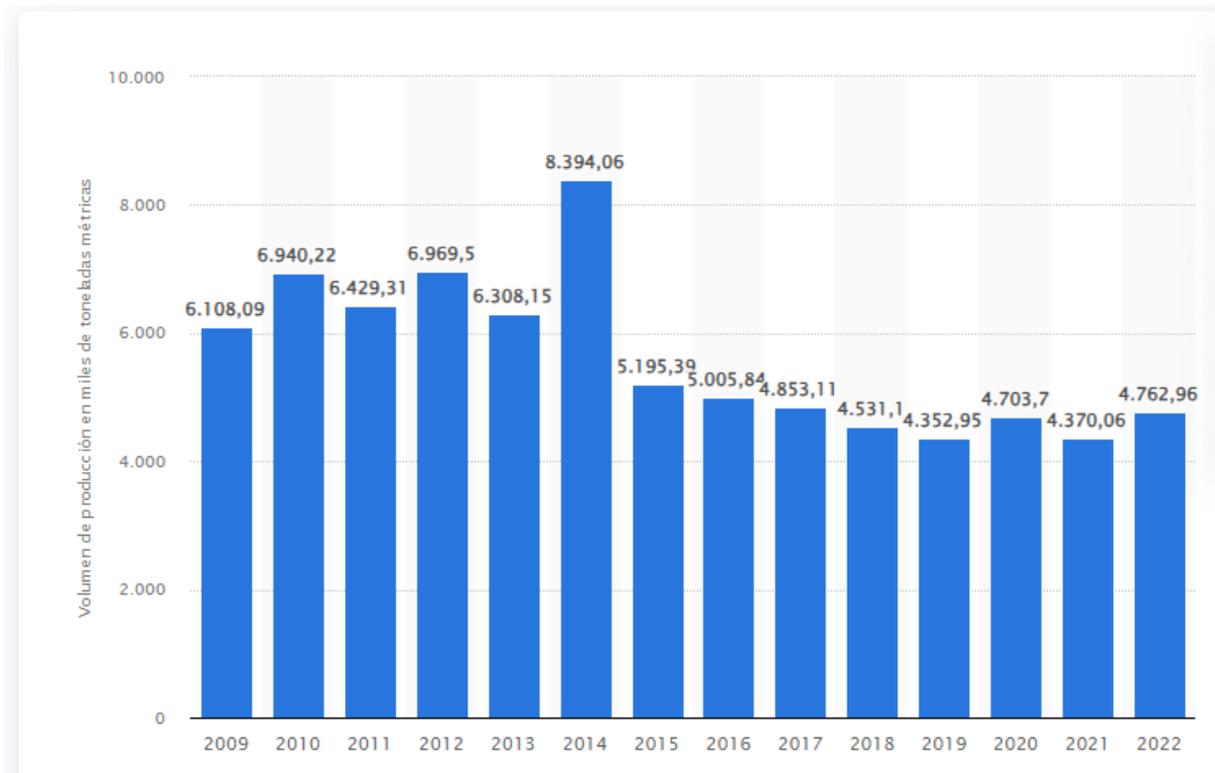


Fuente: Statista, 2023.

Figura 1. Producción mundial de sorgo en 2021/2022, por país líder (en miles de toneladas métricas).

2.4. Producción de sorgo en México

En el año 2022, el volumen de producción de sorgo en grano en México, superó los 4.7 millones de toneladas métricas, lo que representa un ligero incremento en comparación con lo reportado el año anterior.



Fuente: Statista, 2023.

Figura 2. Volumen de producción de sorgo en grano en México de 2009 a 2022 (en miles de toneladas métricas).

En el Cuadro 2, 3 y 4 se muestran la producción de los principales estados a nivel nacional en diferentes modalidades: riego más temporal, riego y temporal durante el año agrícola 2022 (SIAP, 2022).

- **Riego más Temporal**

Cuadro 2. Producción a nivel nacional del sorgo en la modalidad de riego más temporal, durante el año agrícola 2022.

Entidad	Superficie (ha)			Producción	Rendimiento (udm/ha)
	Sembrada	Cosechada	Siniestrada		
1 Tamaulipas	753,392.97	728,124.93	13,753.00	2,121,169.36	2.91
2 Guanajuato	161,119.00	155,909.00	0	857,673.70	5.5
3 Sinaloa	103,557.66	94,091.86	0	343,816.86	3.65
4 Michoacán	74,785.95	70,934.95	0	331,518.48	4.67
5 Nayarit	38,425.50	38,410.50	0	192,378.60	5.01

- **Riego**

Cuadro 3. Producción a nivel nacional del sorgo en la modalidad de riego, durante el año agrícola 2022.

	Entidad	Superficie (ha)			Producción	Rendimiento (udm/ha)
		Sembrada	Cosechada	Siniestrada		
1	Tamaulipas	211,552.72	211,196.73	0	806,252.50	3.82
2	Guanajuato	87,174.00	86,074.00	0	693,666.30	8.06
3	Sinaloa	41,330.46	41,330.46	0	274,873.30	6.65
4	Michoacán	30,512.85	29,927.85	0	176,455.55	5.9
5	Nayarit	8,674.00	8,659.00	0	52,846.13	6.1

- **Temporal**

Cuadro 4. Producción a nivel nacional del sorgo en la modalidad de temporal, durante el año agrícola 2022.

	Entidad	Superficie (ha)			Producción	Rendimiento (udm/ha)
		Sembrada	Cosechada	Siniestrada		
1	Tamaulipas	541,840.25	516,928.20	13,753.00	1,314,916.86	2.54
2	Guanajuato	73,945.00	69,835.00	0	164,007.40	2.35
3	Morelos	29,501.00	27,100.00	0	160,430.30	5.92
4	Michoacán	44,273.10	41,007.10	0	155,062.93	3.78
5	Jalisco	26,622.05	26,244.55	0	150,660.25	5.74

2.5. Usos del sorgo

En las regiones de África y Asia, gran parte del sorgo se utiliza para el consumo humano, debido a la escasez de alimentos y el tipo de clima que favorece su producción. En América se utiliza principalmente para la alimentación animal y en la industria de alcoholes para producir etanol.

En México, el sorgo se utiliza para la alimentación de los animales; sin embargo, la producción de alimentos a base de sorgo para consumo humano mejora el mercado y los ingresos de los agricultores, debido a los bajos costos de producción (Morais *et al.*, 2017; McGinnis y Painter, 2020; Leon *et al.*, 2022).

Las semillas de sorgo son conocidas por su valor nutricional porque tienen un alto contenido de minerales, vitaminas, proteínas, fibra y carbohidratos, por lo que se utilizan para el consumo humano y como alimento para animales (Xiong *et al.*, 2019). El grupo más destacado de componentes bioactivos beneficiosos del sorgo son los polifenoles, especialmente los flavonoides (Awika *et al.*, 2018). A diferencia de otros cereales, el sorgo se destaca por el contenido de taninos en los tipos de testa pigmentada, algunos de ellos en cantidades expresivas de hasta 50 mg g⁻¹ o incluso más (Dykes y Rooney, 2006; Xiong *et al.*, 2019).

A nivel molecular los taninos tienen interacción con almidón, proteínas y enzimas, el cual se relaciona a su alta actividad como antioxidante; por lo tanto, disminuye la digestibilidad, reduce el aporte calórico, con beneficios hacia la obesidad y la diabetes tipo 2, además de otros beneficios para la salud, como actividad anticancerígena y antiinflamatoria (Palacios *et al.*, 2021).

Además, este cereal enfrenta grandes desafíos como ingrediente competitivo en el proceso actual de alimentos. Debido a que los granos de cereales se producen principalmente por su endospermo, que es la parte económicamente más valiosa de la semilla. Por lo tanto, la funcionalidad del endospermo del sorgo a menudo se juzga en relación con las alternativas más abundantemente disponibles, especialmente el arroz, maíz y, en menor medida el trigo (Girard y Awika, 2018).

El sorgo puede clasificarse en tres tipos: sorgo forrajero (utilizado para alimentación animal), sorgo granífero (utilizado para alimentación humana) y sorgo escobero (utilizado para la elaboración de fibras y escobas); (Nieblas *et al.*, 2016; Treviño *et al.*, 2021; León *et al.*, 2022).

2.6. Aspectos botánicos y morfológicos

Raíz. Su sistema radicular es abundante y muy desarrollado, puede alcanzar profundidades de hasta 1.50 m, lo cual le permite extraer agua y nutrientes de capas más profundas, por lo tanto, se adapta a regiones áridas y semiáridas.

Tallo. Generalmente es resistente, recubierto de una cera de color blanquecino denominado Pruina. Su altura oscila entre 1 y 1.8 m; de acuerdo a esta podemos clasificar los sorgos en porte bajo, mediano y alto.

Hojas. En forma de lanza de 0.50 a 1 metro de largo y de 5 a 12 cm de ancho. 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 dependiendo del genotipo. La excursión varía de 0 a 30 cm.

Granos. Pueden ser pequeños, medianos o grandes, su coloración puede ser café rojizo, negro, naranja, amarillo, bronceado, crema o blanco entre otros (Parra y Escobar, 1990).

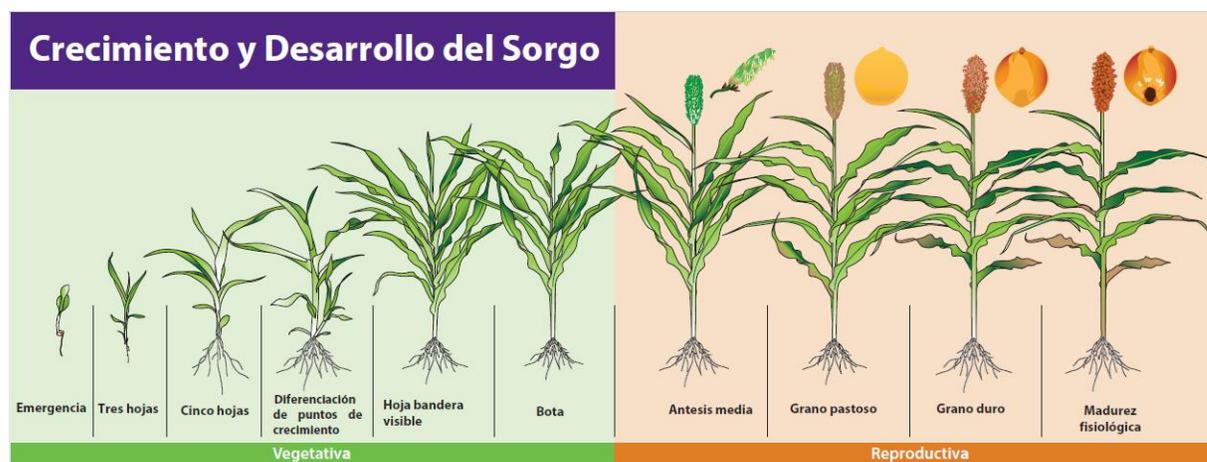
2.7. Crecimiento y desarrollo de la planta

En el cultivo de sorgo como en todos los cultivos es muy importante conocer el crecimiento y desarrollo, lo anterior para comprender la respuesta de las plantas al estrés ambiental y tomar buenas decisiones sobre el manejo de la producción (Roozeboom, 2019). Por lo anterior, en el Cuadro 5 se presentan las etapas fenológicas del cultivo de sorgo.

Cuadro 5. Etapas de crecimiento y desarrollo del sorgo y sus principales características.

Etapa de crecimiento	Características Principales
0	Emergencia: Coleoptilo visible sobre la superficie del suelo.
1	Tres hojas desarrolladas: Lígula de la tercera hoja es visible.
2	Cinco hojas desarrolladas: Lígula de la quinta hoja es visible.
3	Diferenciación del ápice de crecimiento: Alrededor de 8 hojas diferenciadas con sus respectivas lígulas.
4	Hoja bandera visible: Hoja final visible en la parte superior de la planta (cogollo).
5	Estado de bota: Panícula extendida dentro de la vaina de la hoja bandera.
6	50% floración: Mitad de las plantas están en floración.
7	Grano Pastoso: Granos suaves y lechosos al presionar.
8	Grano Duro: Granos relativamente duros al presionar.
9	Madurez fisiológica: Capa negra en la parte inferior del grano.

Fuente: Kansas State Research and Extension, 2023.



Fuente: Kansas State Research and Extension, 2023.

Figura 3. Etapas fenológicas de la planta de sorgo.

2.8. Regla para la calificación de semilla de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.)

Esta regla fue desarrollada por organismos mediante criterios oficiales, conforme a lo dispuesto en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SAG/FITO-2013, por la que se establecen los criterios, procedimientos y especificaciones para la elaboración de guías para la descripción varietal y reglas para determinar la calidad de las semillas para siembra.

Esta regla tiene como objetivo establecer los criterios y especificaciones que deben cumplir las variedades vegetales a nivel de campo y laboratorio, para fines de calificación de las semillas y del material de propagación, de acuerdo a las categorías de semillas previstas en la Ley Federal de Producción, Certificación y Comercio de Semillas (SNICS-SADER, 2018).

2.9. Categorías y equivalencias de semillas

La producción de semilla de híbridos de sorgo con fines de certificación, debe generarse a partir de semilla en categorías original, básica, registrada y certificada.

La categoría básica se requiere para la producción de líneas endogámicas del progenitor femenino (línea A-B) y del progenitor masculino (línea R) que serán utilizados en la producción de semilla híbrida comercial.

Para poder certificarse una línea o variedad como semilla de categoría básica debe cumplir, además de los lineamientos contemplados en la Regla para la Calificación de Semilla de Sorgo, considerando los siguientes requisitos:

- a) Producirse a partir de semilla categoría básica, calificada por el SNICS.
- b) Proceder de la semilla del mejorador, directamente de las manos del obtentor (semilla original), o

c) Haberse generado y obtenido de una institución de investigación nacional, extranjera, pública o privada (SNICS-SADER, 2018).

2.10. Descripción varietal

La caracterización o descripción de una especie vegetal, incluye caracteres distintivos, los cuales son cualitativos, cuantitativos, pseudocuantitativo y pseudocualitativos de distinción, uniformidad y estabilidad que nos ayudan a la distinción de una población de plantas que sean distintas, homogéneas y estables, el cual va a constituir una nueva variedad vegetal (Flores *et al.*, 2011).

2.10.1. Importancia de la descripción varietal

La descripción varietal del sorgo es sin duda muy importante, ya que con esto no solo se garantiza la pureza genética y física de la semilla durante su producción, sino también para afianzar la credibilidad en el mercado de los híbridos y variedades disponibles en el mercado de semillas (Muñoz *et al.*, 1993).

De acuerdo con (Flores *et al.*, 2011) mencionan que, la importancia de la descripción varietal radica en poder registrar la variedad ante organismos oficiales, para promover su difusión y llevar adecuadamente su multiplicación, lo anterior siguiendo estrictas normas oficiales, manteniendo su pureza genética; esto con la finalidad de ofrecer certeza al agricultor que adquiere la nueva variedad vegetal.

2.11. Condiciones para la concesión del derecho de obtentor

Condiciones de la protección

La Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV) en el acta de 1991 indica en el artículo 5 que se concederá el derecho de obtentor de una variedad vegetal, siempre y cuando cumpla con los siguientes criterios:

- i) Nueva,
- ii) Distinta,
- iii) Homogénea y
- iv) Estable.

Las definiciones de los criterios solicitados por la UPOV (1991), se mencionan a continuación:

Novedad

La variedad será considerada nueva si, en la fecha de presentación de la solicitud de derecho de obtentor, el material de reproducción o de multiplicación vegetativa o un producto de cosecha de la variedad, no ha sido vendido o entregado a terceros de otra manera, por el obtentor o con su consentimiento, a los fines de la explotación de la variedad (UPOV, 1991).

Distinción

Será distinta la variedad, si se distingue claramente de cualquier otra variedad cuya existencia, en la fecha de presentación de la solicitud, sea notoriamente conocida.

Homogeneidad

Será homogénea la variedad, si es suficientemente uniforme en sus caracteres pertinentes, a reserva de la variación previsible o de las particularidades de su reproducción sexual o de su multiplicación vegetativa.

Estabilidad

Se considerará estable la variedad, si sus caracteres pertinentes se mantienen inalterados después de reproducciones o multiplicaciones sucesivas o, en caso de un ciclo particular de reproducciones o de multiplicaciones, al final de cada ciclo (UPOV, 1991).

2.12. Presentación de solicitudes

1) [Lugar de la primera solicitud]: El obtentor tendrá la facultad de elegir la Parte Contratante, ante cuya autoridad desea presentar su primera solicitud de derecho de obtentor.

2) [Fecha de las solicitudes subsiguientes]: El obtentor podrá solicitar la concesión de un derecho de obtentor, ante las autoridades de otras Partes Contratantes, sin esperar que se le haya concedido un derecho de obtentor por la autoridad de la Parte Contratante que haya recibido la primera solicitud.

3) [Independencia de la protección]: Ninguna Parte Contratante podrá denegar la concesión de un derecho de obtentor o limitar su duración por el motivo de que la protección para la misma variedad no ha sido solicitada, se ha denegado o ha expirado en otro estado o en otra organización intergubernamental (UPOV, 1991).

2.13. Derecho de prioridad

1) [El derecho; su duración]: El obtentor que haya presentado en debida forma una solicitud de protección de una variedad en alguna de las Partes Contratantes (“primera solicitud”) gozará de un derecho de prioridad durante un plazo de 12 meses para efectuar la presentación de una solicitud de concesión de un derecho de obtentor para la misma variedad, ante la autoridad de otra Parte Contratante (“solicitud posterior”). Este plazo se contará a partir de la fecha de presentación de la primera solicitud. El día de la presentación no estará comprendido en dicho plazo.

2) [Reivindicación del derecho]: Para beneficiarse del derecho de prioridad, el obtentor deberá reivindicar en la solicitud posterior, la prioridad de la primera solicitud. La autoridad, ante la que se haya presentado la solicitud posterior podrá exigir del solicitante que, en un plazo no podrá ser inferior a tres meses a partir de la fecha de presentación de la solicitud posterior, proporcione una copia de los documentos que constituyan la primera solicitud, certificada conforme por la autoridad ante la cual haya sido presentada, así como muestras o cualquier otra prueba de que la variedad objeto de las dos solicitudes es la misma.

3) [Documentos y material]: El obtentor se beneficiará de un plazo de dos años tras la expiración del plazo de prioridad o, cuando la primera solicitud sea rechazada o retirada, de un plazo adecuado a partir del rechazo, para proporcionar a la autoridad de la Parte Contratante ante la que haya presentado la solicitud posterior, cualquier información, documento o material exigidos por las leyes de esta Parte Contratante para el examen previsto en el Artículo 12.

4) [Hechos que tengan lugar durante el plazo de prioridad]: Los hechos que tengan lugar en el plazo fijado en el párrafo 1), tales como la presentación de otra solicitud, o la publicación o utilización de la variedad objeto de la primera solicitud, no constituirán un motivo de rechazo de la solicitud posterior. Esos hechos tampoco podrán crear derechos en favor de terceros.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del sitio experimental

El presente trabajo de investigación se estableció durante el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2022 bajo condiciones de campo abierto en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en el Campo Experimental “El Bajío” en Buenavista, Saltillo, Coahuila. El cual se encuentra ubicado a una latitud de 25° 21’ 37” N, longitud 101° 02’ 15” W y a una altitud de 1731 msnm (Figura 4).



Fuente: Google Earth, 2023.

Figura 4. Localización del sitio experimental.

3.2. Material genético

Durante el ciclo P-V 2022 se establecieron seis genotipos de sorgo (Cuadro 6), dichos genotipos fueron proporcionados por el Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS) del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN).

Cuadro 6. Número y código de identificación de los seis genotipos de Sorgo (*Sorghum bicolor* L. [Moench]).

No. de identificación	Código Genotipo
1	LES-UA-01
2	LES-UA-02
3	LES-UA-03
4	LES-UA-04
5	LES-UA-05
6	LES-UA-06

3.3. Variables evaluadas

3.3.1. Variables o caracteres cualitativos

D. 1: Plántula: pigmentación antociánica del coleóptilo

La evaluación se realizó a los siete días después de la emergencia y se tomó en base a la presencia o ausencia de pigmentación en las plántulas de sorgo.

D. 2: Hoja: pigmentación antociánica del limbo

La observación se efectuó en la tercera hoja de la planta, contada desde el extremo inferior.

D. 3: Planta: número de macollos

En este descriptor, se contaron únicamente aquellos macollos que tenían una altura mínima a un tercio de la altura de la planta principal.

D. 4: Hoja: intensidad de color verde

Se realizó la evaluación mediante la observación visual en base a la guía técnica para la descripción varietal en sorgo (TG/122/4) siguiendo las directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad.

D. 5: Hoja: color del nervio central

Se realizó la evaluación mediante la observación visual en base a la guía técnica para la descripción varietal en sorgo (TG/122/4) siguiendo las directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad.

D. 6: Hoja: zona descolorida del nervio central

En este descriptor la evaluación se realizó de forma visual en base a la guía técnica para la descripción varietal en sorgo (TG/122/4) ver Figura 5.

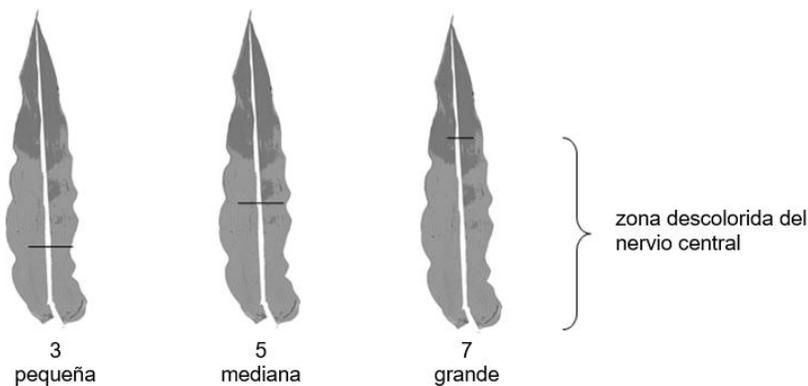


Figura 5. Zona descolorida del nervio central.

D. 7: Planta: época de aparición de las panículas

La evaluación se realizó mediante la observación visual en aquellas en la que la punta de la panícula sobresalió de la vaina de la hoja panicular/bandera en el 50% de las plantas.

Para los siguientes descriptores: D8, D9, D10, D11 y D12, se realizó la evaluación mediante la observación visual en base a la guía técnica para la descripción varietal en sorgo (TG/122/4) siguiendo las directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad.

D. 8: Gluma: pigmentación antociánica

D. 9: Estigma: pigmentación antociánica

D. 10: Estigma: color

Para el caso de este descriptor, no sería posible efectuar la observación si la pigmentación antociánica es intensa; sin embargo, para los genotipos evaluados en este trabajo, si fue posible su observación.

D. 11: Estigma: longitud

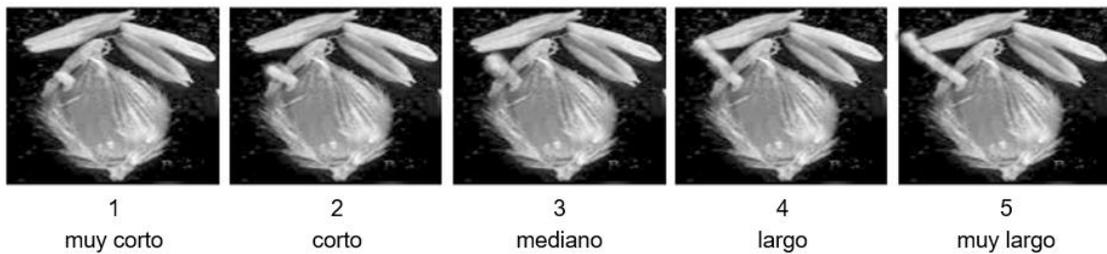


Figura 6. Crecimiento del estigma del sorgo.

D. 12: Flor con pedicelo: longitud de la flor

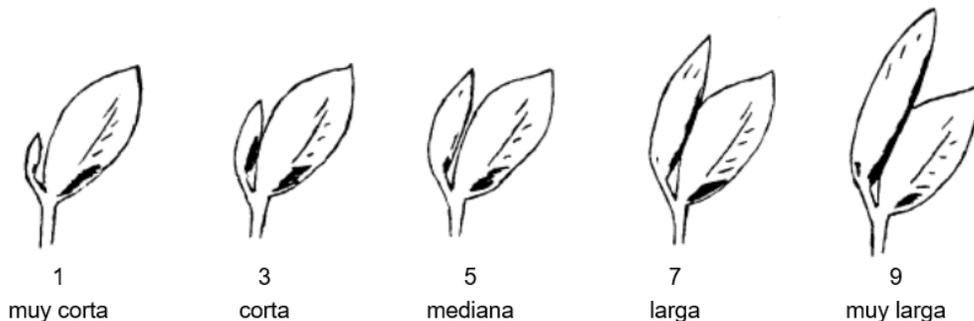


Figura 7. Desarrollo de la flor de una planta de sorgo.

D. 13: Flor: autofertilidad

Para este descriptor, se observaron 10 plantas por genotipo en las cuales se cubrieron las panículas con bolsas para polinizar, previo a la floración. Una vez alcanzada la madurez fisiológica del grano, se retiraron las bolsas de las panículas y

se registró la cantidad estimada de semillas, expresada como porcentaje respecto del número total de flores, esto bajo los siguientes criterios:

Panícula: autofertilidad

- 1 ausente o muy baja: 0% - 10%
- 2 media: 11% - 70%
- 3 alta: 71% - 100%

Para los siguientes descriptores: D14, D15, D16, D17, D25, D26, D27 y D28, se realizó la caracterización, mediante la observación visual con base en la guía técnica para la descripción varietal en sorgo (TG/122/4) siguiendo las directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad.

D. 14: Gluma: color al final de la floración

D. 15: Panícula: densidad al final de la floración

D. 16: Lema: longitud de la arista



Figura 8. Crecimiento de la arista en la flor del sorgo.

D. 17: Antera seca: color

D. 25: Panícula: densidad en la madurez

D. 26: Panícula: posición de la parte más ancha

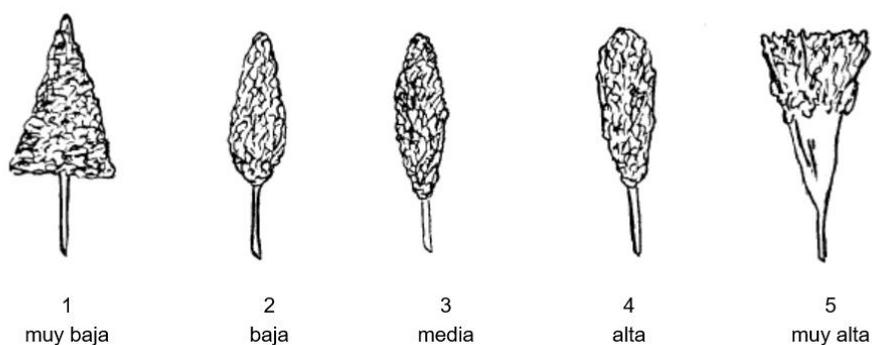


Figura 9. Posiciones de la panícula en la planta de sorgo.

D. 27: Gluma: color en la madurez

D. 28: Gluma: longitud

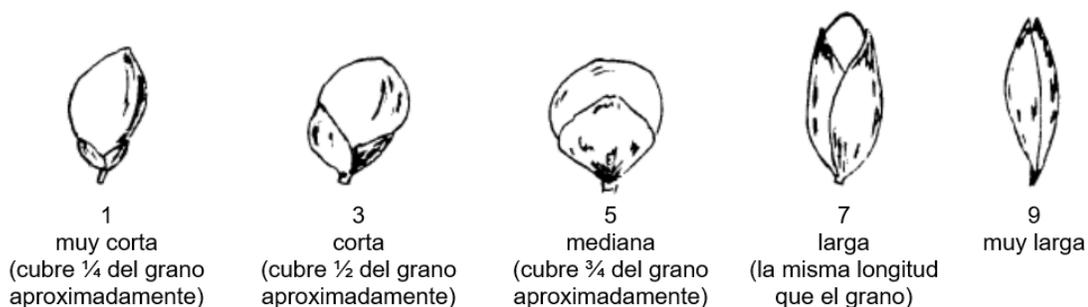


Figura 10. Longitud de gluma en los granos de sorgo.

D. 29: Grano: color

El color del grano se observó después de la trilla.

Para los descriptores D31 y D32 se utilizaron diez granos de cada genotipo, los cuales se colocaron sobre una mesa en el laboratorio y se realizó la evaluación mediante la observación visual en base a la guía técnica para la descripción varietal en sorgo (TG/122/4) siguiendo las directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad.

D. 31: Grano: forma en vista dorsal

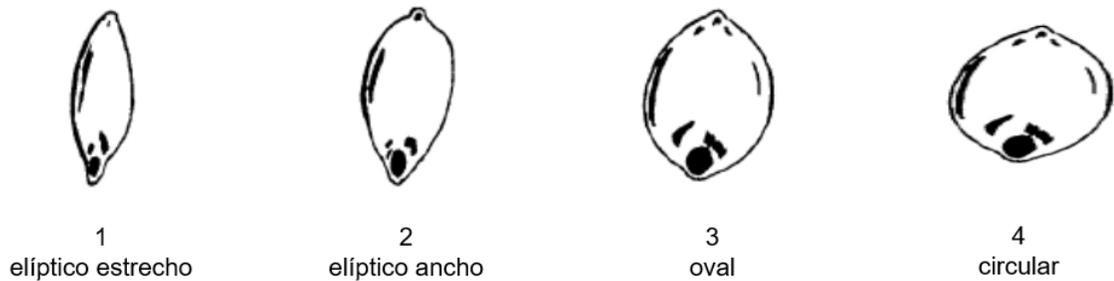


Figura 11. Formas en vista dorsal de un grano de sorgo.

D. 32: Grano: tamaño de la marca del germen

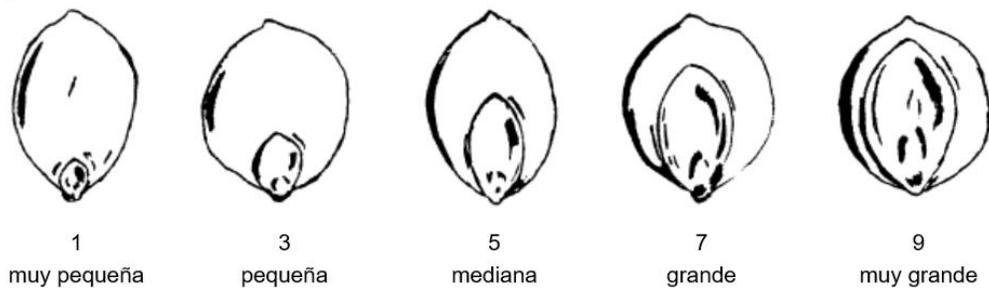


Figura 12. Diferentes tamaños de la marca del germen en un grano de sorgo.

D. 34: Grano: tipo de endospermo

Para la evaluación de este descriptor se realizó un corte longitudinal en una muestra de diez granos, después se observó el tipo de endospermo que presentó la mayoría de los granos, tal como como se muestra en la Figura 13.



Figura 13. Tipos de endospermo en el grano de sorgo.

D. 35: Grano: color de la porción vítrea del endospermo

Para este descriptor se utilizó la misma muestra del descriptor anterior (D34) y se observó el color de la proporción vítrea del endospermo de acuerdo a la guía técnica para la descripción varietal en sorgo (TG/122/4).

D. 36: Planta: sensibilidad al fotoperíodo

Nota: En las variedades insensibles al fotoperíodo, el desarrollo floral no depende de la duración de la luz diurna.

Las variedades sensibles al fotoperíodo, no iniciarán el desarrollo floral hasta que la duración del fotoperíodo sea inferior a 12 horas aproximadamente.

3.3.2. Variables o caracteres cuantitativos

D. 18: Planta: altura

Se midió la altura de la planta desde el nivel del suelo, hasta el extremo superior de la panícula. La medición se realizó con una regla de madera graduada y el resultado se expresó en cm.

D. 19: Tallo: diámetro

La evaluación se realizó en el entrenudo que se encuentra inmediatamente por encima de la tercera hoja desde el extremo superior de la planta, excluida la hoja bandera/panicular. La medición se realizó con un vernier digital y el resultado se expresó en mm.

Para los descriptores D20 y D21 la evaluación se realizó en la tercera hoja desde el extremo superior de la planta, excluida la hoja bandera/panicular. La medición de estos, se llevó a cabo con un flexómetro y el resultado se expresó en cm.

D. 20: Hoja: longitud del limbo**D. 21: Planta: anchura del limbo**

Para los siguientes descriptores D22 y D23, la medición se ejecutó con un flexómetro y el resultado se expresó en cm.

D. 22: Panícula: longitud

La determinación de la longitud de la panícula se efectuó sin tener en cuenta el cuello de la panícula. La medición se ejecutó con un flexómetro y el resultado se expresó en cm.

D. 23: Panícula: longitud del cuello

El cuello se encuentra entre la hoja bandera/panicular y la primera ramificación de la panícula.

D. 24: Panícula: longitud de las ramificaciones primarias

La evaluación se efectuó en el tercio central de la panícula principal, para la determinación de esta se utilizó un flexómetro y el resultado se registró en cm.

D. 30: Peso de 1000 granos

Para este descriptor, se contaron ocho repeticiones de 100 granos, después se pesaron en una balanza analítica y el resultado fue expresado en gramos, posteriormente se dividió entre el mismo número de repeticiones (8) y se multiplicó por 10, todo lo anterior, para cada genotipo.

D. 33: Grano: contenido de taninos

El contenido de taninos de los diferentes genotipos se realizó mediante el método de taninos condensados, el cual se describe el procedimiento a continuación:

1. Se preparó 0.25 g de Vanillina y se aforo a 25 ml con metanol al 100 %.
2. Se preparó 6.25 ml de H₂SO₄ (Ácido sulfúrico); de igual modo, se aforo a 25 ml con metanol al 100 %.
3. Se procedió a preparar la Catequina, para esto se pesó 0.0050 g de Catequina y se aforo a 25 ml con metanol al 80 %.
4. Finalmente, se leyeron las muestras a 500 nm en el Espectrofotómetro.

3.4. Diseño experimental

Respecto a las variables cuantitativas, para el presente trabajo de investigación se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con seis genotipos y cinco repeticiones para las variables: altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), longitud del limbo de la hoja (LLH), anchura del limbo de la hoja (ALH), longitud de panícula (LP), longitud de cuello de panícula (LCP), longitud de las ramificaciones primarias de la panícula (LRPP) y rendimiento de grano por planta (RPL). Se realizó un análisis de varianza y una prueba de medias Tukey ($P \leq 0.05$), mediante el programa estadístico Minitab. Donde:

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 .

μ = *Media general*.

τ_i = es el efecto del i -ésimo tratamiento.

β_j = efecto del j -ésimo bloque.

ε_{ij} = *es el error experimental*.

Se supone que:

- Los errores (ε_{ij}) se distribuyen normal e independientemente con la media cero y la varianza igual a σ^2 .

No hay interacción entre los tratamientos y bloques, o sea que el efecto τ_i es el mismo en todos los bloques.

Para las variables contenido de taninos (TAN) y peso de 1000 granos (P1000G), se utilizó un diseño experimental completamente al azar con seis genotipos y 3 repeticiones para la variable TAN, y 8 repeticiones para la variable P1000G. Se realizó un análisis de varianza y una prueba de medias Tukey ($P \leq 0.05$), mediante el programa estadístico estadístico Minitab. Donde:

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

Y_{ij} = es la variable respuesta.

μ = *Media general*.

τ_i = es el efecto del tratamiento (i).

R_j = efecto de la repetición.

ε_{ij} = *es el error experimental*.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cultivo del sorgo (*Sorghum bicolor* L.) es importante efectuar la descripción varietal, la cual se basa en descriptores morfológicos y variables cuantitativas (Morales-Morales *et al.*, 2019). Por lo tanto, en el Cuadro 7, se presentan datos morfológicos de seis genotipos en donde la evaluación se realizó de manera visual, de acuerdo a las directrices para la ejecución del examen de la distinción, homogeneidad y la estabilidad de sorgo de acuerdo a las especificaciones de la guía técnica TG/122/4 (UPOV, 2015).

Por lo tanto, en el Cuadro 7 se observa que para el carácter (1): Plántula: pigmentación antociánica del coleóptilo, los genotipos LES-UA-01 y LES-UA-05 presentaron una pigmentación media, el genotipo LES-UA-02 presentó una pigmentación intensa, en el resto de las líneas este carácter fue ausente o débil. En el carácter (2): Hoja: pigmentación antociánica del limbo, el genotipo LES-UA-02 resultó con una pigmentación media, en el resto de los genotipos los niveles de pigmentación variaron de ausente o muy débil a débil. Respecto al carácter (3): Planta: número de macollos, se observó un nivel alto en los genotipos LES-UA-01, LES-UA-03 y LES-UA-05, de igual manera, LES-UA-02 destacó con un número muy alto de macollos. En cuanto al carácter (4): Hoja: intensidad del color verde, los genotipos LES-UA-01, LES-UA-02 y LES-UA-04 destacaron con un nivel medio en comparación con el resto de los genotipos que se encontraron de muy claro a claro. En cuanto al carácter (5): Hoja: color del nervio central, el genotipo que resultó con el nivel más alto (amarillo medio) fue LES-UA-06 y el resto de los genotipos fue entre verde claro y amarillo claro. En el descriptor (6) Hoja: zona descolorida del nervio central, la zona más grande se presentó en los genotipos LES-UA-04, LES-UA-05 y LES-UA-06 y de pequeña a mediana se clasificó el resto de los genotipos. Para el descriptor (7) Planta: época de aparición de las panículas: los genotipos más precoces (con un nivel temprano) fueron LES-UA-01, LES-UA-02 y LES-UA-03 en comparación con el resto de los genotipos

que se presentaron un nivel medio a muy tardía como el caso de LES-UA-06. Respecto al carácter (8): Gluma: pigmentación antociánica, el genotipo LES-UA-02, destacó por tener un nivel medio de pigmentación (más oscuro) en comparación con el resto de los genotipos, los cuales presentaron niveles de pigmentación de ausente/muy débil a débil.

Cuadro 7. Descriptores cualitativos en plántula, planta y grano de los seis genotipos de sorgo evaluados, de acuerdo a las directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad UPOV TG/122/4.

Carácter	Método de observación	Descriptor TG/122/4 (Nivel)	Nota	Genotipo					
				LES-UA-01	LES-UA-02	LES-UA-03	LES-UA-04	LES-UA-05	LES-UA-06
(1)	14	Plántula: pigmentación antociánica del coleóptilo							
	VG								
QL		ausente o muy débil	1			*			*
		débil	3				*		
		media	5	*				*	
		intensa	7		*				
		muy intensa	9						
(2)	15 VG	Hoja: pigmentación antociánica del limbo							
(+)									
QL		ausente o muy débil	1			*		*	*
		débil	3	*			*		
		media	5		*				
		intensa	7						
		muy intensa	9						
(3)	41-49 MS/ MG/ VG	Planta: número de macollos							
(+)									
QL		nulo o muy bajo	1				*		
		bajo	2						
		medio	3						*
		alto	4	*		*		*	

Carácter	Método de observación	Descriptor TG/122/4 (Nivel)	Nota	Genotipo					
				LES-UA-01	LES-UA-02	LES-UA-03	LES-UA-04	LES-UA-05	LES-UA-06
		muy alto	5		*				
(4)	45-59 VG	Hoja: intensidad del color verde							
QL	(a)	muy claro	1					*	
		claro	2			*			*
		medio	3	*	*		*		
		oscuro	4						
		muy oscuro	5						
(5) (*)	45-59 VG	Hoja: color del nervio central							
PQ	(a)	blanco	1						
		blanco amarillento	2						
		verde claro	3	*	*			*	
		amarillo claro	4			*	*		
		amarillo medio	5						*
		amarillo oscuro	6						
		amarronado	7						
(6) (+)	45-59 VG	Hoja: zona descolorida del nervio central							
QL	(a)	ausente o muy pequeña	1						
		pequeña	3	*					
		mediana	5		*	*			
		grande	7				*	*	*
		muy grande	9						
(7) (*) (+)	51 MG/ MS	Planta: época de aparición de las panículas							
QL		muy temprana	1						
		temprana	3	*	*	*			
		media	5					*	
		tardía	7				*		
		muy tardía	9						*

Carácter	Método de observación	Descriptor TG/122/4 (Nivel)	Nota	Genotipo					
				LES-UA-01	LES-UA-02	LES-UA-03	LES-UA-04	LES-UA-05	LES-UA-06
(8)	65-69 VG	Gluma: pigmentación antociánica							
QL	(b)	ausente o muy débil	1				*	*	*
		débil	3	*		*			
		media	5		*				
		intensa	7						
		muy intensa	9						

Siguiendo con los caracteres cualitativos evaluados en este trabajo, se observa en el Cuadro 8 que, en el descriptor (9): Estigma: pigmentación antociánica, en este descriptor los genotipos LES-UA-02 y LES-UA-05 presentaron mayor pigmentación con un nivel débil siendo estos dos los mayores respecto al resto de los genotipos que presentaron ausencia o estuvieron muy débil. Para el caso del descriptor (10): Estigma: color, el genotipo LES-UA-06 fue el que presentó un color más fuerte en comparación con el resto de los genotipos. Respecto al descriptor (11): Estigma: longitud, LES-UA-02 fue la línea que presentó mayor longitud, en contraste con el de menor longitud que fue LES-UA-03.

En cuanto al carácter (12): Flor con pedicelo: longitud de la flor, todos los genotipos resultaron con longitudes de corta a mediana. En el descriptor (13): Flor: autofertilidad, todos los genotipos (alta), debido a que se monitoreo y respectivamente todas tuvieron alto nivel de este carácter.

Los genotipos LES-UA-03 y LES-UA-04 fueron los que tuvieron un color más intenso en el descriptor (14): Gluma: color al final de la floración. LES-UA-03 y LES-UA-04 resultaron con una panícula más densa para el carácter (15): Panícula: densidad al final de la floración. Con respecto al descriptor (16): Lema: longitud de la arista, el genotipo con mayor longitud fue LES-UA-02 y el de menor resultó LES-UA-05.

Cuadro 8. Descriptores cualitativos en planta y grano de los seis genotipos de sorgo evaluados, de acuerdo a las directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad UPOV TG/122/4.

Carácter	Método de observación	Descriptor TG/122/4 (Nivel)	Nota	Genotipo					
				LES-UA-01	LES-UA-02	LES-UA-03	LES-UA-04	LES-UA-05	LES-UA-06
(9)	65-69 VG	Estigma: pigmentación antociánica							
QL	(b)	ausente o muy débil	1	*		*	*		*
		débil	3		*			*	
		media	5						
		intensa	7						
		muy intensa	9						
(10)	65-69 VG	Estigma: color							
(*)									
(+)									
PQ	(b)	blanco	1						
		amarillo claro	2	*	*	*	*	*	
		amarillo medio	3						*
		amarillo oscuro	4						
		gris	5						
(11)	65-69 VG	Estigma: longitud							
(+)									
QL	(b)	muy corto	1			*			
		corto	2	*				*	*
		mediano	3				*		
		largo	4		*				
		muy largo	5						
(12)	65-69 VG	Flor con pedicelo: longitud de la flor							
(+)									
QL	(b)	muy corta	1						
		corta	3	*		*		*	
		mediana	5		*		*		*
		larga	7						
		muy larga	9						

Carácter	Método de observación	Descriptor TG/122/4 (Nivel)	Nota	Genotipo						
				LES-UA-01	LES-UA-02	LES-UA-03	LES-UA-04	LES-UA-05	LES-UA-06	
(13)	65-69	Flor: autofertilidad								
(*)	VG									
(+)										
QL		ausente o muy baja	1							
		media	2							
		alta	3	*	*	*	*	*	*	
(14)	69	Gluma: color al final de la floración								
	VG									
PQ	(b)		verde claro	1	*	*			*	*
			verde medio	2						
			verde amarillento	3			*	*		
			amarillo claro	4						
		amarillo medio	5							
(15)	69	Panícula: densidad al final de la floración								
	VG									
QL	(b)		muy rala	1						
			rala	3		*				*
			media	5	*				*	
			densa	7			*	*		
		muy densa	9							
(16)	69-75	Lema: longitud de la arista								
(*)	VG									
(+)										
QL	(b)		ausente o muy corta	1					*	
			corta	3	*		*			*
			mediana	5				*		
		larga	7		*					
		muy larga	9							

Por otro lado, en el descriptor (17): Antera seca: color, LES-UA-02 resultó único con el color rojo anaranjado y el resto se mantuvo en naranja. Respecto al descriptor (25): Panícula: densidad en la madurez, la línea LES-UA-02 presentó una panícula rala, en comparación con el resto que estuvieron de media a densa.

Siguiendo con el carácter (26): Panícula: posición de la parte más ancha, todos los genotipos estuvieron en una posición media. Otro de los descriptores (27): Gluma: color en la madurez, en este descriptor todos los genotipos tuvieron colores desde marrón claro a negro. De igual modo, para el descriptor (28): Gluma: longitud, todos los genotipos estuvieron con longitudes de muy corta a corta. En el carácter (29): Grano: color, se presentó diversidad de colores para todos los genotipos desde blancos, hasta negros.

Para el carácter (31): Grano: forma en vista dorsal, el LES-UA-02 fue quien presentó una forma elíptica ancha, el resto de los genotipos estuvieron en oval y circular. Otra característica del grano fue (32) Grano: tamaño de la marca del germen, en donde los genotipos presentaron tamaños desde pequeñas a medianas para este carácter.

En cuanto al descriptor (34): Grano: tipo de endospermo, tres de los genotipos (LES-UA-02, LES-UA-04 y LES-UA-06) presentaron la mitad vítreo, y el resto farináceo en sus $\frac{3}{4}$ partes. En el descriptor (35): Grano: color de la porción vítrea del endospermo, solamente se observaron los colores amarillo y violeta en todos los genotipos para esta característica. En el (36): Planta: sensibilidad al fotoperíodo, todos los genotipos son insensibles, debido a que ninguno presentó problemas de floración.

Cuadro 9. Descriptores cualitativos en planta y grano (etapa reproductiva) de los seis genotipos de sorgo evaluados, de acuerdo a las directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad UPOV TG/122/4.

Carácter	Método de observación	Descriptor TG/122/4 (Nivel)	Nota	Genotipo					
				LES-UA-01	LES-UA-02	LES-UA-03	LES-UA-04	LES-UA-05	LES-UA-06
(17) (*)	69-75 VG	Antera seca: color							
PQ	(b)	amarillo claro	1						
		rosa grisáceo	2						
		naranja	3	*		*	*	*	*
		rojo anaranjado	4		*				
		rojo	5						
		marrón rojizo	6						
(25) (*)	92-93 VG	Panícula: densidad en la madurez							
QL		muy rala	1						
		rala	3		*				
		media	5	*				*	
		densa	7			*	*		*
		muy densa	9						
(26) (*) (+)	92-93 VG	Panícula: posición de la parte más ancha							
QL		muy baja	1						
		baja	2						
		media	3	*	*	*	*	*	*
		alta	4						
		muy alta	5						
(27) (*)	92-93 VG	Gluma: color en la madurez							
PQ		blanco	1						
		amarillo claro	2						
		amarillo medio	3						
		marrón claro	4	*				*	
		marrón rojizo	5						

Carácter	Método de observación	Descriptor TG/122/4 (Nivel)	Nota	Genotipo						
				LES-UA-01	LES-UA-02	LES-UA-03	LES-UA-04	LES-UA-05	LES-UA-06	
		marrón oscuro	6			*				
		negro	7		*		*		*	
(28)	92-93	Gluma: longitud								
(+)	VG									
QL			muy corta	1		*		*		*
			corta	3	*		*		*	
			mediana	5						
			larga	7						
		muy larga	9							
(29)	92-93	Grano: color								
(*)	VG									
(+)										
PQ			blanco	1						
			blanco amarillento	2						*
			blanco grisáceo	3				*		
			amarillo claro	4						
			naranja	5						
			rojo anaranjado	6					*	
			marrón claro	7						
			marrón rojizo	8	*					
			marrón oscuro	9			*			
		púrpura	10							
		negro	11		*					
(31)	92-93	Grano: forma en vista dorsal								
(+)	VG									
PQ			elíptico estrecho	1						
			elíptico ancho	2		*				
			oval	3			*			*
		circular	4	*			*	*		
(32)	92-93	Grano: tamaño de la marca del germen								
(+)	VG									

Carácter	Método de observación	Descriptor TG/122/4 (Nivel)	Nota	Genotipo					
				LES-UA-01	LES-UA-02	LES-UA-03	LES-UA-04	LES-UA-05	LES-UA-06
QL		muy pequeña	1						
		pequeña	3		*	*			
		mediana	5	*			*	*	*
		grande	7						
		muy grande	9						
(34) (*) (+)	92-93 VG	Grano: tipo de endospermo							
QL		vítreo en su totalidad	1						
		vítreo en sus $\frac{3}{4}$ partes	2						
		la mitad vítreo	3		*		*		*
		farináceo en sus $\frac{3}{4}$ partes	4	*		*		*	
		farináceo en su totalidad	5						
(35) (*)	92-93 VG	Grano: color de la porción vítrea del endospermo							
PQ		blanco	1						
		amarillo	2	*		*			*
		naranja	3						
		violeta	4		*		*	*	
(36) (*) (+)	MG/MS	Planta: sensibilidad al fotoperiodo							
QL		insensible	1	*	*	*	*	*	*
		sensible	9						

Cuadro 10. Descriptores cuantitativos en planta y grano de los seis genotipos de sorgo evaluados, de acuerdo a las directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad UPOV TG/122/4.

Carácter	Método de observación	Descriptor TG/122/4 (Nivel)	Nota	Genotipo					
				LES-UA-01	LES-UA-02	LES-UA-03	LES-UA-04	LES-UA-05	LES-UA-06
(18)	75-85	Planta: altura							
(*)	MS								
(+)									
QN		enana	1						
		enana a extremadamente baja	2						
		extremadamente baja	3						
		extremadamente baja a muy baja	4						
		muy baja	5						
		muy baja a baja	6						
		baja	7						
		baja a mediana	8	*					
		mediana	9			*			
		mediana a alta	10		*				
		alta	11					*	
		alta a muy alta	12				*		
		muy alta	13						*
		muy alta a extremadamente alta	14						
		extremadamente alta	15						
		extremadamente alta a gigante	16						
		gigante	17						
(19)	69-85	Tallo: diámetro							
QN	(c)		pequeño	3					
			mediano	5		*	*		*
		grande	7	*			*		

Carácter	Método de observación	Descriptor TG/122/4 (Nivel)	Nota	Genotipo					
				LES-UA-01	LES-UA-02	LES-UA-03	LES-UA-04	LES-UA-05	LES-UA-06
(20)	75-85 VG/MS	Hoja: longitud del limbo							
QN	(a)	muy corto	1						
		corto	3						
		mediano	5	*	*	*			
		largo	7				*	*	
		muy largo	9						*
(21)	75-85 VG/MS	Hoja: anchura del limbo							
QN	(a)	muy estrecho	1						
		estrecho	3	*	*	*	*	*	
		medio	5						*
		ancho	7						
		muy ancho	9						
(22) (*) (+)	75-85 VG/MS	Panícula: longitud							
QN		muy corta	1						
		corta	3				*		*
		mediana	5	*		*			
		larga	7		*			*	
		muy larga	9						
(23) (+)	75-85 VG/MS	Panícula: longitud del cuello							
QN		ausente o muy corto	1				*		*
		corto	3	*					
		mediano	5		*	*		*	
		largo	7						
		muy largo	9						
Carácter	Método de observación	Descriptor TG/122/4 (Nivel)	Nota	Genotipo					

				LES-UA-01	LES-UA-02	LES-UA-03	LES-UA-04	LES-UA-05	LES-UA-06
(24)	75-85	Panícula: longitud de las ramificaciones primarias							
	VG/ MS								
QN	(b)	cortas	3			*	*	*	*
		medianas	5	*	*				
		largas	7						
(30)	92-93	Peso de 1000 granos							
	MG								
QN		muy pequeño	1						
		pequeño	3						
		medio	5			*			
		grande	7	*				*	
		muy grande	9		*		*		*
(33)	92-93	Grano: contenido de taninos							
(+)	MG								
QN		nulo o muy bajo	1						
		medio	2		*	*		*	
		muy alto	3	*			*		*

Análisis de varianza para las variables cuantitativas

Con respecto a las variables agronómicas (cuantitativas) en el Cuadro 11 y 12 se observa que se presentaron diferencias altamente significativas con un nivel de ($P \leq 0.01$) probabilidad entre genotipos para todas las variables evaluadas, esto indica que existe una amplia diversidad entre los diferentes genotipos evaluados, el cual permite la distinción entre las líneas en el presente trabajo. La diversidad genética es el resultado de las diferencias que existen entre las distintas características (alelos) de las unidades de herencia (genes) de los individuos de una especie (CONABIO, 1998). De igual manera, se observa que se presentaron bajos coeficientes de variación (CV) con valores de 1.50 % a 16.3%, lo cual indica que el experimento presentó buena conducción.

Cuadro 11. Cuadrados medios del análisis de varianza para variables agronómicas cuantitativas evaluadas a nivel de campo en seis genotipos de Sorgo (*Sorghum bicolor*) UAAAN Ciclo P-V 2022.

FV	GL	Cuadrados Medios							
		AP	DT	LLH	ALH	LP	LCP	LRPP	RPL
GEN	5	11961.3**	25.3**	245.5**	7.3**	129.7**	127.6**	16.0**	4164.0**
REP	4	53.3	1.5	20.3	0.3	3.2	4.0	0.2	2.2
Error	20	68.1	1.1	7.5	0.3	1.2	1.7	0.1	1.9
Total	29								
CV(%)		5.37	5.19	3.72	7.06	4.37	16.3	3.73	1.50
\bar{X}		153.81	20.20	73.48	7.76	25.04	7.99	8.47	91.59

**Altamente significativo al nivel de ($P \leq 0.01$) probabilidad; FV= fuente de variación; GL= grados de libertad; GEN; genotipo; REP= repeticiones; CV(%)= coeficiente de variación; AP= altura de planta; DT= diámetro de tallo; LLH= longitud del limbo de la hoja; ALH= anchura del limbo de la hoja; LP= longitud de la panícula; LCP= longitud del cuello de la panícula; LRPP= longitud de las ramificaciones primarias de la panícula y RPL= rendimiento de grano por planta.

Cuadro 12. Análisis de varianza para las variables (contenido de Taninos y Peso de 1000 granos) evaluadas a nivel de laboratorio en seis genotipos de sorgo (*Sorghum bicolor*) UAAAN. Ciclo P-V 2022.

Contenido de taninos				Peso de 1000 granos			
FV	GL	SC	CM	F.V.	G.L.	SC	CM
GEN	5	7771527	1554305**	GEN	5	1299.874	259.975**
Error	12	354247	29521	Error	42	11.780	0.280
Total	17	8125774		Total	47	1311654	
CV(%)			16.16	CV(%)			1.73
\bar{X}			1063.407	\bar{X}			30.56

**Altamente significativo al nivel de ($P \leq 0.01$) probabilidad; FV= fuente de variación; GL= grados de libertad; SC= suma de cuadrados; CM= cuadrados medios; GEN; genotipo y CV(%)= coeficiente de variación.

Los resultados del Cuadro 13, corresponden a la comparación de medias de 5 de las 10 variables cuantitativas (AP, DT, LLH, ALH y LP) evaluadas en el presente trabajo de investigación, donde se puede observar que, los genotipos LES-UA-04 y LES-UA-06 resultaron superiores para la variable AP (altura de planta) en comparación con el resto de los genotipos los cuales presentaron una menor altura. Para el caso de la variable DT (diámetro de tallo), los genotipos que presentaron diámetros superiores fueron: LES-UA-01 y LES-UA-04 en comparación con el genotipo LES-UA-02 que

presentó menor diámetro de tallo. En cuanto al descriptor LLH (longitud del limbo de la hoja) los genotipos LES-UA-05 y LES-UA-06 fueron los de mayor longitud del limbo. De la hoja, además de la longitud también, se tomó la anchura (ALH) que, de acuerdo a la comparación de medias (Cuadro 13) fueron cuatro los genotipos que presentaron una mayor anchura de limbo, los cuales son: LES-UA-01, LES-UA-04, LES-UA-05 y LES-UA-06. Por otro lado, otra de las variables evaluadas fue la longitud de la panícula (LP), donde se puede observar que las líneas con mayor tamaño de panícula fueron: LES-UA-01 y LES-UA-02, los cuales se puede contrastar con la línea de menor tamaño de panícula que fue la línea LES-UA-06.

Cuadro 13. Comparación de medias para las variables agronómicas (descriptores cuantitativos) evaluadas en seis genotipos de sorgo (*Sorghum bicolor*), en el Campo Experimental “El Bajío” de la UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, ciclo P-V 2022.

GEN	AP cm	DT mm	LLH cm	ALH cm	LP cm
LES-UA-01	101.2 d	23.2 a	67.3 c	8.1 a	29.5 ab
LES-UA-02	127.8 c	17.5 c	68.0 bc	6.7 b	30.8 a
LES-UA-03	116.5 cd	18.6 bc	68.5 bc	5.9 b	22.0 c
LES-UA-04	211.2 a	22.6 a	73.2 b	8.1 a	21.6 c
LES-UA-05	150.6 b	19.4 bc	79.6 a	8.6 a	28.2 b
LES-UA-06	215.6 a	19.9 b	84.2 a	9.1 a	18.2 d
Tukey (P≤0.05)	16.41	2.11	5.45	1.10	2.18

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales Tukey (P≤0.05); GEN= genotipo; AP= altura de planta; DT= diámetro de tallo; LLH= longitud del limbo de la hoja; ALH= anchura del limbo de la hoja y LP= longitud de la panícula.

En cuanto a los datos que se observan en el Cuadro 14, corresponden al resto de las 10 variables cuantitativas (LCP, LRPP, P1000G, TAN y RPL) evaluadas en el presente trabajo de investigación. En donde se puede observar que para la variable LCP (longitud de cuello de panícula) los genotipos LES-UA-02 y LES-UA-03, fueron los de mayor tamaño e iguales con 13.4 cm, los cuales se pueden comparar con los genotipos LES-UA-04 y LES-UA-06, que resultaron de menor tamaño que va de 2 a 2.8 cm. Siguiendo con la variable LRPP (longitud de las ramificaciones primarias de la panícula), se puede ver que para esta variable el único genotipo que resultó con mayor

longitud fue LES-UA-01 en comparación con el resto de los genotipos que mantuvieron un tamaño similar entre sí. Para el caso del Peso de 1000 granos (P1000G), los genotipos LES-UA-02 y LES-UA-06 fueron superiores y con un resultado similar para esta variable en comparación con LES-UA-03 que fue el de menor peso. En cuanto al contenido de taninos (TAN) los genotipos de mayor contenido fueron LES-UA-04 y LES-UA-06, comparándolos con los genotipos LES-UA-02 y LES-UA-03 que resultaron con menor contenido. Para el caso del contenido de taninos se dice que el color, no es un indicador muy preciso del nivel de taninos, además de estar fuertemente afectado por la subjetividad del observador (especialmente en el límite entre rojos y marrones); (Massigoge *et al.*, 2002).

Para la última variable RPL (rendimiento de grano por planta), se puede resaltar que solamente el genotipo LES-UA-04 fue el que superó en cuanto a peso a todos los genotipos.

Cuadro 14. Comparación de medias para las variables agronómicas (descriptores cuantitativos) evaluadas en seis genotipos de sorgo (*Sorghum bicolor*), en el Campo Experimental “El Bajío” de la UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, ciclo P-V 2022.

GEN	LCP cm	LRPP cm	P1000G g	TAN mg/100g	RPL g
LES-UA-01	6.4 c	11.5 a	29.4 c	1267.6 b	67.6 e
LES-UA-02	13.4 a	9.3 b	36.0 a	308.9 d	76.0 d
LES-UA-03	13.4 a	8.6 c	21.1 e	280.1 d	59.3 f
LES-UA-04	2.0 d	7.5 d	32.9 b	1933.1 a	128.4 a
LES-UA-05	10.0 b	6.5 e	28.0 d	794.4 c	96.4 c
LES-UA-06	2.8 d	7.4 d	36.1 a	1796.4 a	121.9 b
Tukey (P≤0.05)	2.59	0.64	0.79	471.21	2.74

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales Tukey (P≤0.05); GEN= genotipo; LCP= longitud del cuello de la panícula; LRPP= longitud de las ramificaciones primarias de la panícula; P1000G= peso de mil granos; TAN= contenido de taninos y RPL= rendimiento de grano por planta.

V. CONCLUSIONES

Entre los genotipos de sorgo evaluados se presentó una amplia diversidad genética para todas las variables agronómicas y morfológicas caracterizadas.

Los resultados de la descripción varietal en los diferentes genotipos evaluados, en sus diversas etapas fenológicas, mediante caracteres cualitativos y cuantitativos, permitieron la distinción, homogeneidad y estabilidad de los genotipos de sorgo.

VI. LITERATURA CITADA

- Awika, J. M., Rose, D. J., & Simsek, S. (2018). Complementary effects of cereal and pulse polyphenols and dietary fiber on chronic inflammation and gut health. *Food & function*, 9(3), 1389-1409.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (1998). *La diversidad biológica de México: estudio de país*, Semarnap/INEGI (Estadísticas del Medio Ambiente, México, 1997). Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio y Ecológico Protección al Ambiente, 1995-1996, INEGI, México.
- Davidson, R. M., Gowda, M., Moghe, G., Lin, H., Vaillancourt, B., Shiu, S. H., ... & Robin Buell, C. (2012). Comparative transcriptomics of three Poaceae species reveals patterns of gene expression evolution. *The Plant Journal*, 71(3), 492-502.
- Dykes, L., & Rooney, L. W. (2006). Sorghum and millet phenols and antioxidants. *Journal of Cereal Science*, 44(3), 236-251.
- Flores, N. A., Vázquez M. E., F. Borrego, y D. Sánchez. (2011). Análisis de la homogeneidad, distinción y estabilidad de tres variedades sobresalientes de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2 (1). 5-16 p.
- Girard, A. L., and Awika, J. M. (2018). Sorghum polyphenols and other bioactive components as functional and health promoting food ingredients. *Journal of Cereal Science*, 84, 112-124.
- Google Earth, (2023). Consultado en noviembre del 2023. Disponible en: <https://earth.google.com>.
- Kansas State Research and Extension. (2023). *Sorghum Growth and Development*. USDA.
- Kimber, C. T. (2000). Origins of domestication sorghum and its early diffusion to India and China. In: C. W. Smith, R. A. Fredericksen (Ed). *Sorghum Origin, History, Technology and Production*. John Wiley and Sons, Inc. New York, NY.

- Lee, S., Choi, Y.-M., Shin, M.-J., Yoon, H., Wang, X., Lee, Y., Yi, J., & Desta, K. T. (2022). Agro-Morphological and Biochemical Characterization of Korean Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Landraces. *Agronomy*, 12(11), 2898.
- León-López, A., Mendoza-Wilson, A. M., & Balandrán-Quintana, R. R. (2022). Propiedades nutricionales, funcionales y bioactivas de alimentos a base de sorgo: Avances y oportunidades para su aprovechamiento integral. *Tecnociencia Chihuahua*, 16 (2), 912-912.
- McGinnis, M. J., & Painter, J. E. (2020). Sorghum: History, use, and health benefits. *Nutrition Today*, 55, 38-44.
- Massigoge, J. I., Zamora, M., & Melin, A. (2002). Evaluación del contenido de taninos en híbridos de sorgo granífero. *Carpeta de actualización técnica. Ganadería. CEI Barrow*, (1).
- Morais Cardoso, L., Gomes, J. V. P., Della Lucia, C. M., Carvalho, C. W. P., Galdeano, M. C., ... & Pinheiro-Sant'Ana, H. M. (2017). Comparing sorghum and wheat whole grain breakfast cereals: Sensorial acceptance and bioactive compound content. *Food Chemistry*, 221, 984-989.
- Morales-Morales A.E., Andueza-Noh R.H., Márquez-Quiroz C., Benavides-Mendoza A., Tun-Suarez J.M, González-Moreno A. y Alvarado-López C.J. (2019). Caracterización morfológica de semillas de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) de la Península de Yucatán. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6 (18): 463-475. DOI: 10.19136/era.a6n18.2171
- Muñoz, G., G. Giraldo y J. Fernández S. (1993). *Descriptores varietales; arroz, frijol, maíz y sorgo*. Pub. No. 177 CIAT. Cali, Colombia. 168 p.
- Nieblas Morfa, C., Gallardo Aguilar, I., Rodríguez Rodríguez, L., Carvajal Mena, N., González Chávez, J. F., & Pérez Pentón, M. (2016). Obtención de bebidas y otros productos alimenticios a partir de dos variedades de sorgo. *Centro Azúcar*, 43, 66-78.
- Palacios, C. E., Nagai, A., Torres, P., Rodrigues, J. A. & Salatino, A. (2021). Contents of tannins of cultivars of sorghum cultivated in Brazil, as determined by four quantification methods. *Food Chemistry*, 337, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127970>.
- Parra, P. y Escobar, A. (1990). *El cultivo del sorgo*. Santander Cúcuta: Servicio Nacional de Aprendizaje.

- Paterson, A. H., Bowers, J. E., Bruggmann, R., Dubchak, I., Grimwood, J., Gundlach, H., ... & Rokhsar, D. S. (2009). The *Sorghum bicolor* genome and the diversification of grasses. *Nature*, 457(7229), 551-556.
- Pérez, A., Saucedo, O., Iglesias, J., Wencomo, H. B., Reyes, F., Oquendo, G., & Milián, I. (2010). Caracterización y potencialidades del grano de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Pastos y forrajes*, 33(1), 1-1.
- Roozeboom, K. L., & Prasad, P. V. (2019). Sorghum growth and development. *Sorghum: A state of the art and future perspectives*, 58, 155-172.
- Sanjana Reddy, P. (2017). Sorgo, sorgo bicolor (L.) Moench. Mijo y sorgo: biología y mejoramiento genético, 1-48 p.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022. Producción Mensual Agrícola. Avance de Siembras y Cosechas. Disponible en: https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/
- SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas). 2018. Para qué Certificar o Calificar Semilla. Ciudad de México. Recuperado de <https://snics.agricultura.gob.mx/transparencia-focalizada/para-que-certificar-o-calificar-semilla>
- SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de semillas). 2018. Regla para la calificación de semilla de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.). SADER-SNICS. Ciudad de México.
- Statista. (20 de febrero de 2023). Producción mundial de sorgo en 2021/2022, por país líder (en miles de toneladas métricas). Estadísticas. Recuperado de <https://www.statista.com/statistics/1134651/global-sorghum-production-by-country/>
- Statista. (15 de octubre 2023). Volumen de producción de sorgo en grano en México de 2009 a 2022 (en miles de toneladas métricas). Estadísticas. Recuperado de <https://es.statista.com/estadisticas/646904/volumen-produccion-sorgo>.
- Suarez, M. M.; Zeledón, J. L. 2003. Uso eficiente del nitrógeno por cuatro variedades de sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) en el Municipio de San Ramón, Matagalpa Universidad Nacional Agraria. 2-105 p.
- UPOV (Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales). 1991. Convenio internacional para la protección de las obtenciones vegetales, revisado el 2 de diciembre de 1961, 10 de noviembre de 1972, 23 de octubre de 1978 y el 19 de marzo de 1991. Ginebra, Suiza.

- UPOV (Unión Internacional para la protección de las Obtenciones Vegetales). (2015). Directrices para la ejecución del examen de distinción, la homogeneidad y la estabilidad. Documento TG/122/4. UPOV. Ginebra. 4-6 p.
- Treviño, S., M.; Perales, T., A.; Castillo, R., O.; Montes, G., N.; Lizarazo, O., C.; Navarro, C., R., & Rodríguez, C., G. (2021). Proximal analysis and profile of fatty acids on six varieties of white grain sorghum with potential use in human consumption. *CyTAJournal of Food*, 19, 547-551.
- Xiong, Y., Zhang, P., Warner, R. D., & Fang, Z. (2019). Sorghum grain: From genotype, nutrition, and phenolic profile to its health benefits and food applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(6), 2025-2046.

VII. APENDICE

Nota: La letra “D” es la abreviación de Descriptor.



D1: Pigmentación antociánica del coleóptilo



D2: Pigmentación antociánica del limbo



D3: Número de macollos



D4: Intensidad de color verde de la hoja



D5: Color del nervio central de la hoja



D6: Zona descolorida del nervio central de la hoja



D7: Época de aparición de las panículas



D8: Pigmentación antocianica de la gluma



D9: Pigmentación antocianica del estigma



D10: Color del estigma



D11: Longitud del estigma



D12: Longitud de la flor con pedicelo



D13: Flor: autofertilidad



D14: Color de la gluma al final de floración



D15: Densidad de panícula al final de floración



D16: Lema: longitud de la arista



D17: Color de la antera seca



D18: Altura de planta



D19: Diámetro de tallo



D20: Longitud del limbo de la hoja



D21: Anchura del limbo de la hoja



D22: Longitud de la panícula



D23: Longitud del cuello de la panícula



D24: Longitud de las ramificaciones primarias de la panícula



D25: Densidad de la panícula en la madurez



D26: Posición de la parte más ancha de la panícula



D27: Color de la gluma en la madurez



D28: Longitud de gluma



D29: Color del grano



D30: Peso de 1000 granos



D31: Forma del grano en vista dorsal



D32: Tamaño de la marca del germen del grano



D33: Contenido de taninos del grano



D34: Tipo de endospermo del grano



D35: Color de la porción vítrea del endospermo



D36: Sensibilidad al fotoperíodo de la planta