

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Asociación entre la Micoflora de Semillas de Recursos Fitogenéticos de Sorgo
(*Sorghum bicolor*) y su Calidad Fisiológica

Por:

BERNI CRUZ ROBLERO

TESIS

Presenta como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Asociación entre la Microflora de Semillas de Recursos Fitogenéticos de Sorgo
(*Sorghum bicolor*) y su Calidad Fisiológica

Por:

BERNI CRUZ ROBLERO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

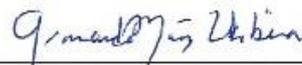
Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dra. Leila Minea Vásquez Siller
Asesor Principal



Dr. Antonio Flores Naveda
Coasesor



Dr. Armando Muñoz Urbina
Coasesor



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



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2021

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.

Autor principal



Berni Cruz Roblero

Asesor principal



Dra. Leila Minea Vásquez Siller

AGRADECIMIENTO

A **Dios** por haberme permitido llegar a este mundo, quien me ha dado la paz, tranquilidad, fortaleza y bendición de cumplir esta meta que me propuse a realizar. A pesar de las barreras que se presentaron en el transcurso del camino, todo fue posible.

A mi **Familia** por la confianza que depositaron en mí, en el apoyo que me brindaron económicamente y moralmente. Ellos son mi motivación de seguir cumpliendo cada una de mis metas planteadas.

A la **Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”** por abrirme sus puertas y ser parte de ella, formándome profesionalmente a nivel licenciatura como Ingeniero Agrónomo en Producción.

A la **Dra. Leila Minea Vásquez Siller**, por guillarme en el transcurso de mi formación profesional, compartiendo sus conocimientos e habilidad, así como permitirme realizar este proyecto y su disposición para la revisión.

Al **Dr. Armando Muños Urbina**, por brindarme su tiempo, apoyo, paciencia y sus conocimientos en la interpretación de los datos y revisión del trabajo.

Al **Dr. Antonio Flores Naveda**, por su disposición, apoyo y sugerencias para la revisión del presente trabajo.

A **María Cristina Betancourt Corvera**, por su gran apoyo y conocimientos que me brindo en este trabajo.

A mis **Profesores** que me compartieron sus conocimientos, enseñanzas, apoyo y sus sabios consejos.

A **Erodi Rodríguez Sánchez, Guadalupe Aguilar Santana, Susana Alvarado Espínola, Gladys Martell**, por permitir tenerlos como parte de la familia en el que vivimos momentos maravillosos y brindándonos apoyo unos a los otros, en el cual hemos logrado esa meta que un día nos propusimos. Que dios me lo bendiga donde quiera que se encuentren.

A mis **Amigos**: Ing. Félix Eduardo Pérez, Ing. Pascual Hervidan Pérez, Edwin Fabián Matías, Ing. Mixer Mejía, Ing. Derli Mejía, Ing. Aldren Pérez, Ing. Daniel Roblero, Ing. Víctor López, Ing. Iván Rodríguez, Ing. Mauricio Vázquez, Christian Gonzales, Josué Figueroa, Dayner de Jesús Hernández, Ezequiel Días, Néstor Abraham Hernández, Ulises Ramírez; por los momentos que convivimos juntos, les deseo lo mejor en sus trabajo que realicen.

DEDICATORIA

A mis padres: **Mauro Cruz Roblero y Rosalbina Roblero Roblero**, que lucharon por mi bienestar, mi educación, salud y el apoyo que me brindaron incondicionalmente, me han dado un legado maravilloso para ejercerme profesionalmente, gracias por sus sabios consejos y la confianza que me depositaron para salir adelante y lograr este sueño anhelado, sabré recompensarlos para sentirlos orgulloso de los grandes sacrificio que hicieron por mí.

A mi abuelita y tío: **Camila Roblero López y Santos Roblero López**, que siempre han estado con migo, por su sus grandes consejos que me comparten y el gran cariño que me tienen.

A mis hermanos: **Emanuel Cruz Roblero, Eduardo Cruz Roblero, Citlalli Cruz Roblero, Reyli Marcelino Cruz Roblero, Jerimi Cruz Roblero, Hilda Cruz Roblero**, Por los momentos maravillosos y felices que hemos compartimos juntos.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	IV
DEDICATORIA	V
ÍNDICE GENERAL	VI
ÍNDICE DE CUADROS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	X
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
1. Origen histórico del sorgo	3
2. Importancia del sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>)	3
3. Importancia económica	4
3.1 Producción mundial	4
3.2 Producción nacional	5
4. Clasificación taxonómica	6
5. Morfología	6
5.1 Tallo	6
5.2 Pedúnculo	6
5.3 Hoja	7
5.4 Raíz	7
5.5 Flor	7
5.6 Semilla	8
6. Etapas fenológicas del cultivo de sorgo	9
7. Ecología del sorgo	11
8. Aspectos agronómicos del sorgo	11
8.1 Labores culturales	11
8.1.1 Preparación del terreno	12
8.1.2 Importancia de los híbridos para siembra	12
8.1.3 Fecha de siembra	12
8.1.4 Fertilización	13

8.1.5 Riego.....	13
8.1.6 Cosecha.....	14
8.2 Manejo de problemas fitosanitarios	15
8.2.1 Plagas insectiles	15
8.2.2 Enfermedades.....	16
8.2.3 Maleza	17
8.3 Calidad de la semilla	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS	21
1. Localización del experimento.....	21
2. Materiales biológicos	21
3. Determinación de la calidad fitosanitaria de semillas de recursos fitogenéticos de sorgo	22
3.1 Prueba fitosanitaria para determinar la incidencia de infección de hongos fitopatogenos en semilla de sorgo.....	22
4. Determinación de la calidad fisiológica de semillas de recursos fitogenéticos de sorgo.....	23
4.1 Prueba fisiológica para determinar parámetros de germinación	23
5. Análisis estadístico	25
5.1 Análisis de varianza multivariado.....	25
5.1.1 Análisis de conglomerados (AC).....	25
5.1.2 Análisis de componentes principales (ACP)	26
5.2 Análisis estadístico univariado	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
1. Determinación de la calidad fitosanitaria de semillas de recursos fitogenéticos de sorgo	29
2. Determinación de la calidad fisiológica de semillas de recursos fitogenéticos de sorgo	34
3. Asociación entre la micoflora de nueve genotipos de sorgo y su calidad fisiológica.....	41
V. CONCLUSIONES	43
VI. LITERATURA CITADA	45

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Parámetros de adaptabilidad y rango de adaptación para el sorgo	11
Cuadro 2.	Dosis de nutrientes para Sorgo granífero y su rendimiento	13
Cuadro 3.	Enfermedades y agentes causales en semillas de cereales*	17
Cuadro 4.	Genotipos de sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>) de grano rojo estudiados	21
Cuadro 5.	Géneros de hongos presentes en la prueba de fitosanidad	29
Cuadro 6.	Cuadrados medio y coeficiente de variación de los grupos del Análisis de conglomerados de la prueba fitosanidad	30
Cuadro 7.	Comparaciones de medias ¹ de los grupos formados en el análisis de conglomerados en semillas de sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>)	31
Cuadro 8.	Valores y vectores propios para los tres primeros componentes principales de cuatro variables agronómicas evaluadas en nueve genotipos de sorgo	32
Cuadro 9.	Correlaciones fenotípicas entre las variables consideradas en el ACP	33
Cuadro 10.	Cuadrado medio (CM) y coeficiente de variación (C.V%) de los seis grupos obtenidos en el AC en la prueba de germinación estándar	35
Cuadro 11.	Comparaciones de medias ¹ de los grupos formados en el análisis de conglomerados en semillas de sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>)	36
Cuadro 12.	Valores y vectores propios para los tres primeros componentes principales de seis variables evaluadas en calidad fisiológica de nueve genotipos de sorgo	38
Cuadro 13.	Correlaciones fenotípicas entre las variables consideradas en el ACP	39
Cuadro 14.	Promedios de la prueba de germinación y su relación con tipos de plántulas anormales en nueve genotipos sorgo	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Morfología del sorgo <i>Sorghum bicolor</i> , (Vanderlip y Reeves,1972).	8
Figura 2.	Muestra de los tipos de color de las semillas de sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>). (SADER, 2018).	8
Figura 3.	Etapas fenológicas del crecimiento del cultivo de sorgo, (Vanderlip y Reeves, 1972).	10
Figura 4.	Necesidad de agua en diferentes etapas en desarrollo del cultivo de sorgo (Paul, 1990).	14
Figura 5.	Atributos de la calidad de la semilla, (Jancko, 2014).	20
Figura 6.	Clasificación de plántulas anormales: 1) raíces débiles, 2) coleoptilo vacío, 3) coleoptilo largo y plúmula corta, 4) sin coleoptilo y sin plúmula, 5) sin raíces, 6) coleoptilo corto y raíces desarrolladas y 0) plántula normal con raíces y plúmula bien desarrollados, (Seed Technology Laboratory, 1960).	24
Figura 7.	Agrupación de genotipos de sorgo de acuerdo a la incidencia en semilla de los generos de hongos fitopatogenos detectados en la prueba de fitosanidad.	30
Figura 8.	Gráfica biplot que muestra las variables-vector y la distribución de los nueve genotipos de sorgo, en base a los dos primeros componentes principales.	33
Figura 9.	Dendograma de agrupación en nueve genotipos de sorgo de acuerdo a las variables evaluadas en la prueba de germinación estandar.	34
Figura 10.	Variables evaluadas en la Prueba de germinación aplicada a nueve genotipos de sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>). A. Germinación, B. plántulas normales, C. plántulas anormales y D. semillas sin germinar. (Fuente propia).	37
Figura 11.	Gráfica biplot que muestra las variables-vector y la distribución de los nueve genotipos de sorgo, en base a los dos primeros componentes principales.	38

RESUMEN

El trabajo de investigación se llevó a cabo en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en el Laboratorio de Ensayos de Semillas, Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS), perteneciente al Departamento de Fitomejoramiento, Buenavista Saltillo, Coahuila, México. Los objetivos fueron determinar la asociación de la micoflora fitopatológica de la semilla de sorgo y su calidad fisiológica así como clasificar los tipos de plántulas anormales presentes en la prueba de germinación estándar, para apoyar la selección de genotipos de sorgo originados en un agro-ecosistema del semidesértico. El material genético estuvo constituido por nueve genotipos de sorgo (*Sorghum bicolor*) de grano rojo: LES 184, LES 232, LES 7, LES 194, LES 283, LES 291, LES 296, LES 231 y LES 278, pertenecientes al programa de producción de granos y semillas del CCDTS, de la UAAAN. La prueba de sanidad se realizó con la metodología de papel secante y congelación, en la fisiológica se utilizó la prueba de germinación estándar. Con la información obtenida en las pruebas de fitosanidad y fisiología se realizaron análisis multivariados (Minitab 16), utilizando análisis de componentes principales y de conglomerados, este último incluyó un análisis univariado de varianza entre los grupos generados en dicho análisis de conglomerados y se realizó la prueba de medias de Tukey ($p=0.05$) correspondiente con el paquete estadístico SAS. Los resultados obtenidos indicaron la presencia de cinco géneros de hongos detectados en la prueba de fitosanidad: *Fusarium* spp., *Alternaría* spp, *Epicoccum* spp, *Gonatobotrys* spp y *Phoma* spp. El análisis de conglomerados para determinar calidad fitosanitaria genero seis grupos entre los cuales destaca el grupo tres que incluye los genotipos LES 232, LES 7, LES 194 y el grupo cuatro con el genotipo LES 283, los cuales obtuvieron los porcentajes del género *Fusarium* más bajos de las accesiones investigadas, con 4.7% y 4.0% respectivamente. El análisis de componentes principales para calidad fitosanitaria, determino una correlación negativa entre *Fusarium* spp., *Gonatobotrys* spp. y *Epicoccum* spp. contra *Alternaría* spp., la cual fue detectada con la mayor incidencia en los nueve genotipos estudiados con un

rango de (78.9 a 91.2 %). El análisis de conglomerados para determinar calidad fisiológica genero seis grupos entre los cuales destaco el grupo dos y uno que incluyeron a los genotipos: LES 232, LES 194, LES 278, LES 184 y LES 231, los cuales presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) mostrando los más altos porcentajes de germinación (84.5%) y (93%), mayor porcentaje de germinación de plántulas normales (75.5%) y (85%) y un reducido porcentaje de semillas sin germinar (15.5%) y (9.6%), respectivamente. El análisis de componentes principales para calidad fisiológica mostró una correlación positiva y altamente significativa ($r = 0.979^{**}$) entre porcentaje de germinación y germinación de plántulas normales; una correlación negativa altamente significativa ($r = -1.000^{**}$) entre porcentaje de germinación y semillas sin germinar y una correlación negativa altamente significativa ($r = -0.977^{**}$) entre germinación de plántulas normales y semillas sin germinar, indicando que los grupos: 3, 4, 5 y 6 que incluyeron a los genotipos LES 7, LES 283, LES 291 y LES 296, tuvieron altos porcentajes de semillas sin germinar,. El genotipo LES 296 estadísticamente ($p \leq 0.05$) mostró la mayor longitud de radícula (16.2 cm) y longitud de pluma (14.4 cm). Los genotipos LES 232, LES 194 y LES 278 mostraron un rango de germinación de plántulas anormales de 4 a 5%; correspondiendo del 3 al 4% al tipo de plántulas anormales de coleoptilo corto y raíces desarrolladas. Los genotipos LES 232 y LES 194, son potencialmente aptos para ser seleccionados para continuar su proceso de Fitomejoramiento, por tener la mejor calidad fitosanitaria y fisiológica de semilla.

Palabra clave: Genotipos de Sorgo, Semilla, Fitosanidad, Calidad fisiológica y Clasificación de plántulas anormales.

I. INTRODUCCIÓN

El sorgo (*Sorghum bicolor*) es el quinto cereal de mayor importancia en el mundo, después del trigo, el arroz, el maíz y la avena. Se ha 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 y también en la industria. El sorgo no solo se utiliza en la alimentación de los animales, sino también para fines industriales; en este aspecto tiene los mismos usos que el maíz. Se destaca en la producción de almidón, dextrosa, miel de dextrosa, aceites comestibles y bebidas; en la elaboración de cervezas, bebidas locales y materias colorantes, cosméticos, papel, productos farmacéuticos, entre otras. Para el año 2020 la producción mundial de sorgo fue de 57 millones de toneladas métricas, siendo México uno de los principales productores de sorgo ocupando el cuarto lugar a nivel mundial con una producción de 4.70 millones de toneladas, donde la participación porcentual de entidades como Tamaulipas fue de 40.54%, Guanajuato 19.06 %, Sinaloa 8.47 % y Michoacán 6.84%.

La semilla es el insumo agrícola de mayor importancia en el proceso productivo, este permite tener la multiplicación de una nueva especie vegetal, donde el alimento principal se constituye de las semillas Doria (2010). La germinación de la semilla es vital porque sin germinación no hay presencia de planta y sin plantas no hay cosechas orientado exclusivamente en la calidad de la semilla que se representa por cuatro atributos: Calidad genética, que se asegura la estabilidad del genotipo y su continuidad a través del tiempo, evitando la degeneración de los cultivares para así preservar sus características originales; Calidad física, afectada por la presencia o ausencia de cualquier contaminante distinto de la semilla deseable; Calidad fisiológica capacidad de la semilla para germinar, emerger y dar origen a plantas uniformes y vigorosas; Calidad fitosanitaria se refiere principalmente a la presencia o ausencia de patógenos (hongos, bacterias, nematodos y virus) causantes de enfermedades Farras (2018). Otro aspecto que determina si lote

de semillas se encuentra deteriorado es la clasificación de plántulas anormales las cuales se determinan durante prueba de germinación Gallo *et al.* (2017). Por lo tanto se realizó la presente investigación con los objetivos que se presentan a continuación.

Objetivo general

Determinar la asociación de la micoflora fitopatológica de la semilla de sorgo y su calidad fisiológica, para apoyar la selección de genotipos de sorgo originados en agro-ecosistema del semidesierto.

Objetivos específicos

1. Determinar la calidad fitosanitaria en semilla de nueve genotipos de sorgo.
2. Determinar la calidad fisiológica en semilla de nueve genotipos de sorgo.
3. Determinar la asociación potencial que hay entre la micoflora presente en nueve genotipos de sorgo y su calidad fisiológica para apoyar el criterio de selección de genotipos de sorgo.

Hipótesis

Hipótesis alternativa

Los hongos fitopatógenos transportados en semilla de sorgo, afectan a la calidad fisiológica de la semilla en agro-ecosistema del semidesierto.

Hipótesis nula

Los hongos fitopatógenos transportados en semilla de sorgo, no afectan a la calidad fisiológica de la semilla en agro-ecosistema del semidesierto.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. Origen histórico del sorgo

El sorgo se originó del silvestre *Sorghum bicolor subsp. arundinaceum* y la mayor variación se encuentra en la parte noroeste del África, abajo del Sahara. Los primeros informes muestran que el sorgo existió en India en el siglo I d.C. Esculturas que lo describen se hallaron en ruinas Asirías de 700 años a.C. El sorgo quizás sea originario de África Central Etiopía y Sudán, es donde se encuentra la mayor diversidad de tipos. Esta diversidad disminuye hacia el norte de África y Asia. Existen, sin embargo, ciertas evidencias de que surgió en forma independiente tanto en África como en la India, (Doggett, 1988).

2. Importancia del Sorgo (*Sorghum bicolor*)

El sorgo ha ocupado un lugar muy importante en el desempeño mostrado por el sector agropecuario del país en los últimos años, ya que se ha constituido en un elemento dinamizador del crecimiento, tanto del subsector pecuario como de la agroindustria. Su participación en la agricultura es de gran importancia, pues ocupa el segundo lugar en cuanto a producción obtenida de los diez principales granos básicos, después del maíz y el tercer lugar en cuanto a superficie sembrada, después del maíz y del frijol. En México, el sorgo está considerado como un grano forrajero por excelencia, por su aportación al fomento y desarrollo de especies pecuarias proveedoras de alimentos básicos y de bajo precio relativo para la población, como las carnes de ave y cerdo, (CEA, 1999).

El sorgo 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 la ceba de animales, y también en la industria. A su vez posee alto potencial de producción de granos y buenas perspectivas de contribución al desarrollo de la agricultura, (Pérez *et al.*, 2018).

3. Importancia económica

El sorgo no solo se utiliza en la alimentación de los animales, sino también para fines industriales; en este aspecto tiene los mismos usos que el maíz. Se destaca en la producción de almidón de dextrosa, miel de dextrosa, aceites comestibles y bebidas; en la elaboración de cervezas, bebidas locales y materias colorantes, cosméticos, papel, productos farmacéuticos, mezcla en café, entre otras. Además, las panículas se emplean para la confección de escobas o se queman para obtener cenizas ricas en potasio, De los tallos de esta planta se pueden obtener otros productos, como jarabes y azúcares, (Saucedo, 2008).

La producción de etanol constituye una fuente alternativa para la obtención de energía a partir de este cultivo. La harina de sorgo es pobre en gluten, con ella se fabrican tortas y galletas, que sirven de base en la alimentación humana, ya sea sola o asociada al maíz o al mijo. En la India, China y algunas regiones de África, el sorgo constituye un elemento muy importante. El grano se come quebrándolo y cocinándolo en la misma forma que el arroz, o moliéndolo para obtener harina y elaborar pan sin levadura, (Saucedo, 2008).

3.1 Producción mundial

El sorgo es el quinto cereal más producido en el mundo en el año 2009 con 56 millones de toneladas métricas, siendo Estados Unidos, India, México y Nigeria los principales países productores, estos países juntos aportan aproximadamente la mitad de la producción mundial FAO (2011).

En el año 2020 la producción en el mundo fue de 57 millones de toneladas métricas. Siendo los países de mayor producción, Estados Unidos con 8.67 millones de toneladas, Nigeria 6.66 millones de t, Etiopía 5.26 millones de t, México 4.35 millones t, (FAO, 2020).

El Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), estimó para el mes de enero 2021 la Producción Mundial de Sorgo 2020-2021 rondará los 61.62 millones de toneladas. Dado que la producción de Sorgo del año pasado fue de 57.96 millones de toneladas. Los 61.62 millones de toneladas estimados para el año 2021 podrían significar un incremento de 3.66 millones de toneladas o 6.31% en la producción de sorgo alrededor del mundo. Siendo los principales países productores, Estados Unidos con 9,474,000 toneladas métricas, Nigeria con 6,900,000 toneladas métricas, Etiopía con 5,000,000 toneladas métricas, (PAM, 2021).

3.2 Producción nacional

En el 2011, la producción en México registró 6.42 millones de toneladas, mismo que fue insuficiente para suministrar el consumo nacional aparente, el cual remontó a 8.8 millones de t, por lo que fue necesario importar 2.38 millones de toneladas. Para el año 2012 se registró 6.96 millones de t, la dinámica de la producción de sorgo en las distintas regiones productoras de México, tomando en cuenta los principales productores tales como Tamaulipas 40.29%, Guanajuato 21.46%, Michoacán 10.24% y Sinaloa 6.53%, (FAO, 2015).

Para el año 2020 la producción nacional fue de 4.70 millones de toneladas, lo que representa que hubo una baja producción con respecto a los años anteriores, donde la participación porcentual de entidades como Tamaulipas fue de 40.54%, Guanajuato 19.06 %, Sinaloa 8.47 % y Michoacán 6.84%, (SIAP, 2020).

4. Clasificación taxonómica

Clasificación del cultivo de sorgo como lo describe, (Moench, 1794).

Nombre Científico: *Sorghum bicolor* (L)

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Subfamilia: Panicoideae

Tribu: Andropogonae

Género: Sorghum

Especie: *Sorghum bicolor*

5. Morfología

En la (Figura1) se representa las estructuras morfológicas del sorgo, así como se menciona a continuación.

5.1 Tallo

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

5.2 Pedúnculo

El entrenudo más alto lleva la inflorescencia, es el pedúnculo y siempre es el más largo. Entre más largo sea el pedúnculo esto le permite que los granos queden fuera de la vaina de la hoja bandera y entonces se reduce el daño por plagas y enfermedades en la parte inferior de la panícula. La longitud del

pedúnculo está controlada genéticamente, pero los factores ambientales como la deficiencia de agua, puede ser una limitante, (Compton, 1990).

5.3 Hoja

El número de hojas varía de 7 a 24 según la variedad y el período de crecimiento, son erectas hasta casi horizontales y se encorvan con la edad. La longitud de una hoja madura es de 30 a 135 cm y su ancho entre 1.5 a 15 cm; son alternas y lanceoladas o linear-lanceoladas, con una superficie lisa y cerosa. La última hoja producida es la hoja bandera y su vaina protege la inflorescencia que está emergiendo. En la mayoría de los casos presenta lígula siendo un apéndice membranoso que se encuentra en la línea que une la lámina, o limbo foliar, con la vaina, (CENTA, 2007).

5.4 Raíz

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

5.5 Flor

La flor del sorgo posee estambres y pistilos, inflorescencia con espigas que nacen a pares una fértil y otra estéril, conformado por una panoja o panícula compacta, samcompactas, suelta y abierta, corta o larga con un raquis central completamente escondido por la densidad de sus ramas o totalmente expuesto, puede tener de 4 a 25 cm de largo, 2 a 20 cm de ancho y contener de 400 a 8,000 granos, según el tipo de panoja. Cuando está inmadura es forzada hacia arriba dentro de la vaina más alta (buche), después que la última hoja bandera, (Compton, 1990).

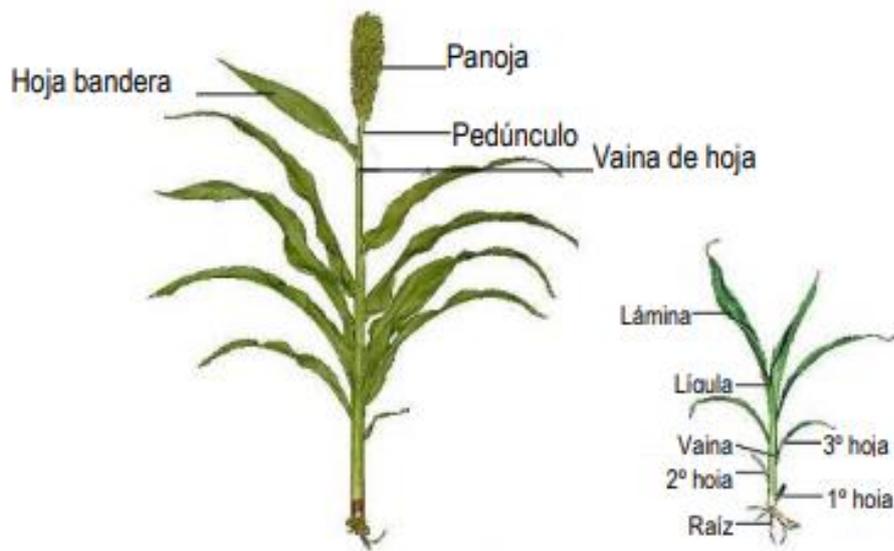


Figura 1. Morfología del sorgo *Sorghum bicolor*, (Vanderlip y Reeves, 1972).

5.6 Semilla

El fruto es una cariósipide de forma oval, presenta diferentes colores: negro, rojo, blanco y amarillento como se representa en la Figura 2, con finas líneas marcadas en su superficie. Tiene una longitud de 3 mm. La mayoría de semillas se desprenden y caen al suelo al secarse la planta en la madurez, (CENTA, 2007).



Figura 2. Muestra de los tipos de color de las semillas de sorgo (*Sorghum bicolor*). (SADER, 2018).

6. Etapas fenológicas del cultivo de sorgo

Según Vanderlip y Reeves (1972), divide el crecimiento y desarrollo del sorgo en nueve etapas fenológicas (Figura 3), Las cuales a continuación se describen.

1. Estado 0 - Emergencia

El coleóptilo es visible en la superficie del suelo.

2. Estado 1 - Lígula de la 3er hoja visible

Los collares y lígulas de tres hojas pueden ser vistos sin disección de la planta.

3. Estado 2 - Lígula de la 5ta hoja visible

Los collares y lígulas de cinco hojas pueden verse sin la disección de la planta.

4. Estado 3 - Diferenciación de meristemos

Momento del cambio del punto de crecimiento de vegetativo a reproductivo. Aproximadamente entre 7 a 10 hojas se encuentran completamente expandidas.

5. Estado 4- hoja bandera visible

Todas las hojas excepto las últimas 3 a 4 se hayan expandidas, representando el 80% de la máxima área foliar.

6. Estado 5 - Estado de bota o buche

Todas las hojas se han expandido completamente, proporcionando la máxima área foliar. La panoja casi alcanzó su máxima longitud, y está rodeada por la vaina de la hoja bandera.

7. Estado 6 - Floración

Las plantas se encuentran en algún momento de la floración, que progresa de arriba hacia abajo de la panoja.

8. Estado 7 - Grano lechoso

En esta etapa el grano tiene una consistencia lechosa y el llenado del grano se produce rápidamente. Se siguen perdiendo las hojas inferiores quedando 8 a 12 hojas funcionales en esta etapa.

9. Estado 8 - Grano pastoso

En esta etapa aproximadamente tres cuartas partes del peso seco del grano se ha alcanzado.

10. Estado 9 - Madurez Fisiológica

La humedad del grano depende del híbrido y el ambiente, y varía entre un 25 y un 35%.

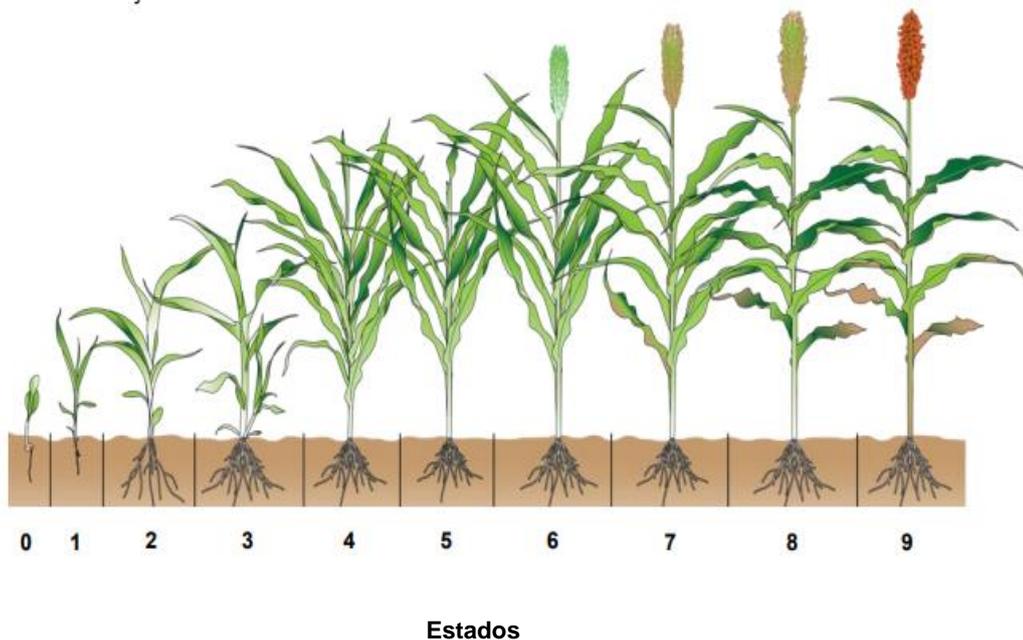


Figura 3. Etapas fenológicas del crecimiento del cultivo de sorgo, (Vanderlip y Reeves, 1972).

7. Ecología del sorgo

El sorgo requiere de ciertas condiciones para lograr su desarrollo y producción donde debe existir una relación entre planta y medio ambiente que le rodea, como lo mencionan, Parra (1990); Traxco (2011). Que se representa en el (Cuadro 1).

Cuadro 1. Parámetros de adaptabilidad y rango de adaptación para el sorgo

Parámetros	Rangos
Altitud (óptimo)	1400 - 1700 msnm
Temperatura (óptima)	32 °C (Depende de la var.)
Rango mínimo y máximo	14 – 36 °C
Humedad relativa	≥ 70%
Textura de suelo	Francos: FA, Fa y FAa
Ph del suelo	5.5 – 8.5
Foto periodo	8 horas luz/día
Precipitación (agua)	400 - 600 mm (ciclo)

8. Aspectos agronómicos del sorgo

El sorgo, así como los demás cultivos son de suma importancia tomar en cuenta el manejo agronómico que se le debe dar para obtener mejores rendimientos y calidad del producto a menores costos económicos. A continuación se describen algunas prácticas de manejo aplicados en el cultivo de sorgo.

8.1 Labores culturales

El manejo del cultivo debe ser el óptimo, para obtener mejores resultados en la producción a la que está enfocado el sorgo.

8.1.1 Preparación del terreno

Es importante determinar el tratamiento adecuado al suelo, según las características de la superficie, considerando la topografía, relieve del suelo, historial de manejo y presencia de malezas, FAO (2000). Para condiciones de textura liviana se requiere un arado a una profundidad de 25 a 30 cm con anticipación de uno a dos meses antes de la siembra o dos pases de rastra, dos o tres rastrilladas (cruzadas), una pulida y una nivelada, (Parra, 1990).

8.1.2 Importancia de los híbridos para siembra

Es muy importante utilizar híbrido para siembra, ya que son tolerantes a ciertas plagas y enfermedades, como también un buen rendimiento por el cual el costo económico es más bajo dado a que se aplican menos agroquímicos. A continuación se mencionan algunos híbridos de sorgo de grano recomendados para la zona norte de Sinaloa por tener mejores rendimientos de temporal, (Moreno, 2011).

- Kilate con 8,580 ton/ha
- DKS 26 con 8,503 ton/ha
- 85G47 con 8,480 ton/ha
- 5265 con 8,235 ton/ha
- CS 92 con 8,145 ton/ha

8.1.3 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, (*Contarinia sorghicola*). 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 malas hiervas, (Moreno, 2011).

8.1.4 Fertilización

En el Cuadro 2 se presentan los requerimientos de los nutrientes para el cultivo de sorgo, indicando distintos niveles de producción y las distintas necesidades de los principales nutrientes, (Fontanetto y Kaller, 2008).

Cuadro 2. Dosis de nutrientes para Sorgo granífero y su rendimiento

Rendimiento (Kg/ha)	N	P	K	Ca	Mg	S
3.000	105	20	77	18	17	14
4.000	125	22	100	23	20	18
6.000	180	30	150	33	30	24
7.000	220	35	170	38	36	30
8.000	250	39	210	45	43	40
10.000	300	48	270	55	55	50

8.1.5 Riego

El sorgo es una planta muy tolerante a la sequía, pero requiere agua para satisfacer sus necesidades, principalmente durante los primeros estadios de crecimiento y en la floración. En la Figura 4, se presentan las necesidades mínimas de agua en las diferentes etapas para variedades foto insensitivas, (Paul, 1990).

Para el Bajío, se recomienda aplicar un riego de asiento con una lámina de 10 cm antes de la siembra y sembrar a tierra venida, o sembrar en seco y aplicar el riego de iniciación. Se debe aplicar dos riegos de auxilio de 20 cm de lámina, el primero a los 40 días después de la siembra y el segundo a los 65-70 días después de la siembra, (Quintero *et al.*, 2017).

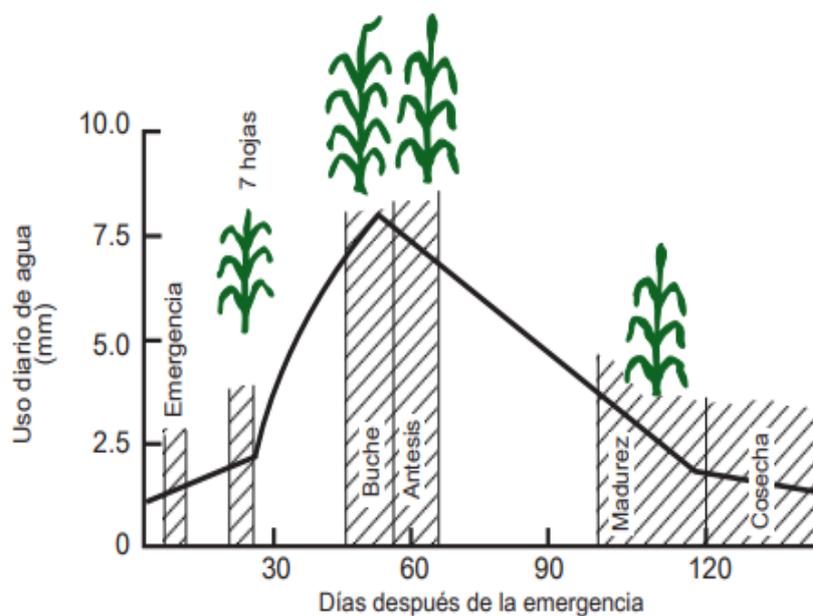


Figura 4. Necesidad de agua en diferentes etapas en desarrollo del cultivo de sorgo (Paul, 1990).

8.1.6 Cosecha

En los genotipos de ciclo intermedio, el grano de sorgo alcanza su madurez fisiológica entre los 25 y 30 días después de la antesis, con una humedad de grano de 30 a 35%; se recomienda esperar otros 30 ó 40 días a que pierda humedad el grano para poder cosecharlo y se encuentre con 15-17% de humedad, lo cual ocurre entre los 120 y 130 días después de la siembra, esto depende del híbrido o variedad utilizado y las condiciones climáticas.

Una manera de poder identificar cuando el grano ya está en condiciones de cosechar son: cuando los granos del tercio inferior de la panoja truenen al morderse, o bien si al apretar la panoja de abajo hacia arriba los granos se sueltan con facilidad. En la medida que se cuente en la región con planta secadora de grano, es recomendable cosechar cuando el grano llegue al 20% de humedad, ya que en etapas posteriores la planta puede tener deterioros tales como panojas quebradas, acame, desgrane, (Nogales, 2007).

8.2 Manejo de Problemas fitosanitarios

El cultivo de sorgo es invadido por diferentes plagas y enfermedades en sus diferentes etapas fenológicas, desde el momento de la siembra hasta la cosecha, esto varía por factores como las condiciones climáticas, variedad del cultivo, prácticas de producción, lugar de establecimiento del cultivo y año de siembra, (Leyba, 1998).

8.2.1 Plagas insectiles

Plagas de suelo: Estos insectos cumplen una fase de su ciclo en el suelo y producen daños a la semilla durante los estadios de germinación y plántula. A continuación se mencionan las plagas más comunes en sorgo como lo mencionan, (Forratec, 2015; INIFAP- CIRNE, 2001).

- Gusano de alambre (*Melanotus* spp., *Agriotes* spp., *Dalopius* spp).
- Gusanos blancos (*Anoxia villosa*).
- Gusanos grises (*Agrotis segetum*).
- Gallina ciega (*Phyllopaga* spp.).
- Gusanos cortadores (Varias especies).
- Pájaros y otras aves.

Plagas del cultivo: El sorgo, como otros cultivos, es atacado durante su crecimiento y desarrollo por insectos y otras plagas secundarias.

- Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*).
- Gusano soldado (*Spodoptera exigua*).
- Arañuela o araña roja (*Tetranychus* spp.).
- Mosquita de la panoja o midge (*Contarinia sorghicola*).
- Gusano de la panoja (*Celama sorghiella*).
- Pulgones (varias especies).
- Barrenador del tallo (*Diatraea* spp., *Elasmopalpus lignoselus*).

El control de plagas debe realizarse mediante manejo integrado de plagas, el uso de insecticidas, cultivares resistentes y métodos culturales como puede ser: fecha de siembra, rotaciones, manejo de residuos de cosecha, labrar bien los campos, mantener limpio de mala hierba durante el ciclo del cultivo y control biológico, (Bruggers, 1982; Forratec, 2015).

8.2.2 Enfermedades

Las enfermedades más comunes que se presentan en el cultivo del sorgo han sido ampliamente reportadas, (INIFAP- CIRNE, 2001; Forratec, 2015).

- La roya o chahuixtle (*Puccinia purpurea*).
- Mancha zonada de la hoja (*Gloeocercospora sorghi*).
- Mancha gris de la hoja (*Cercospora sorghi*).
- Antracnosis y/o pudrición roja (*Colletotrichum graminícola*).
- Tizón de la panoja (*Fusarium verticillioides* (*F. moniliforme*)).
- Tizón de la hoja (*Exserohilum turcicum* y *Helminthosporium turicum*),
- Ergot (*Claviceps africana* (anamorfo: *Sphacelia* spp)).
- Carbones.

En la prevención y control de las enfermedades se debe efectuar buena preparación del terreno, época de siembra, evitar exceso de humedad, adecuada densidad de población y usar semillas de buena calidad resistentes.

En el Cuadro 3 se representan algunas enfermedades que se han reportado en cereales como maíz y trigo, las cuales han sido también detectadas en sorgo INIFAP- CIRNE, (2001) así como el agente causales de la misma, (Wharham *et al.*, 1999).

Cuadro 3. Enfermedades y agentes causales en semillas de cereales*

Enfermedades	Hongos fitopatógenos
<ul style="list-style-type: none"> • Pudrición del tallo y de la raíz, tizón o roña de la espiga en trigo y maíz. 	<i>Fusarium</i> spp.
<ul style="list-style-type: none"> • Tizón foliar, pudrición de la raíz. 	<i>Bipolaris</i> spp.
<ul style="list-style-type: none"> • Mancha foliar. 	<i>Curvularia</i> spp.
<ul style="list-style-type: none"> • Tizón de la avena. 	<i>Drechslera</i> spp.
<ul style="list-style-type: none"> • Mancha foliar y pudrición del tallo. 	<i>Exserohilum</i> spp.
<ul style="list-style-type: none"> • Pudrición carbonosa de tallo de maíz. 	<i>Acremonium</i> spp.
<ul style="list-style-type: none"> • Mancha foliar. 	<i>Alternaria</i> spp.
<ul style="list-style-type: none"> • Pudrición del maíz y trigo en almacenamiento. 	<i>Aspergillus</i> spp.
<ul style="list-style-type: none"> • Pudrición del tallo. 	<i>Botrytis</i> spp.
<ul style="list-style-type: none"> • Pudrición de la mazorca y espiga en trigo. 	<i>Cladosporium</i> spp.
<ul style="list-style-type: none"> • Mancha roja de grano de maíz. 	<i>Epicoccum</i> spp.
<ul style="list-style-type: none"> • Pudrición de la mazorca en maíz. 	<i>Gonatobotrys</i> spp.
<ul style="list-style-type: none"> • Pudrición de la mazorca y del tallo en maíz. 	<i>Nigrospora</i> spp.
<ul style="list-style-type: none"> • Pudrición de la mazorca de maíz. 	<i>Penicillium</i> spp.
<ul style="list-style-type: none"> • Moho negro en trigo. 	<i>Stemphylium</i> spp.
<ul style="list-style-type: none"> • Moho de hollín en espiga de trigo 	<i>Torula</i> spp.
<ul style="list-style-type: none"> • Pudrición de la mazorca de maíz 	<i>Trichoderma</i> spp.
<ul style="list-style-type: none"> • Enfermedad foliar en trigo 	<i>Phoma</i> spp.

* (Wharham *et al.*, 1999).

8.2.3 Maleza

El combate de malezas en el sorgo puede hacerse en forma de control mecánica donde se debe realizar dos deshierbes con implementos manuales o cultivadoras para controlar las malezas. Control química, siendo esta última la más eficiente y oportuna para mantener una siembra limpia y a bajo costo. Aplicar en preemergencia del cultivo Paraquat o Atrazina, en postemergencia al cultivo aplicar 2-4 –D Amina o Prosulforon, Rodríguez (2000); Quintero *et al.* (2017). Siendo un factor muy importante porque actúa con la competencia de

luz solar, los nutrientes y el dióxido de carbono dando como resultado la disminución del rendimiento en el cultivo debido a que las plantas de sorgo son muy débiles y se desarrollan muy lentamente las primeras semanas posteriores a la germinación. A continuación, se mencionan algunas malas hierbas que afectan al cultivo de sorgo en México, (Info Agro, 2016).

Hojas anchas: Acahual (*Simsia amplexicaulis*), Aceitilla (*Bidens pilosa*), Amargosa (*Parthenium hysterophorus*), Correhuela (*Ipomoea sp.*), Chayotillo (*Xanthium strumarium*), Chual blanco (*Chanopodium álbum*), chual morado (*Chenopodium murale*), lechosa (*Euphorbia heterophilla*), Lengua de vaca (*Rumex crispus*), Malva (*Anoda cristata*) Malva quesillo (*Malva parviflora*), Meloncillo (*Cucumis melo*), Mostaza (*Brassica campestris*), Polocote (*Tithonia tubaeformis*), Quelite (*Amaranthus hybridus*), Toloache (*Datura stramonium*), Tomatillo (*Physalis angulata*), Verdolaga (*Portulaca oleracea*).

Hoja angosta: Gramilla (*Cynodon dactylon*), Zacate cangrejo (*Digitaria sanguinalis*), Zacate de agua (*Echinochloa crus-galli*), Zacate espiga (*Panicum fasciculatum*), Zacate guiador (*Panicum reptans*), Zacate Johnson (*Sorghum halepense*) Zacate lancita (*Eragrostis cilianensis*) Zacate pata de gallo (*Eleusine indica*), Zacate pinto (*Echinochloa colona*) Zacate pitillo (*Ixophorus unisteus*), Zacate salado (*Leptochloa filiformis*).

8.3 Calidad de la semilla

La semilla es el insumo agrícola de mayor importancia en el proceso productivo porque permite tener la multiplicación de una nueva especie vegetal, donde el alimento principal se constituye de las semillas para la alimentación de animales domésticos así como para el ser humano permitiendo a la agricultura ha visualizar la vital importancia de la semilla, haciendo necesario una producción agrícola eficiente y competitiva en términos de calidad y rentabilidad, lo cual ha ocasionado el surgimiento de subprocesos dentro del proceso productivo orientados exclusivamente a la generación de semilla de calidad, (NIFAP, 2016; Fedegro, 2019).

Para obtener semillas de calidad se deben de considerar los siguientes componentes que lo conforman (Figura 5), los cuales se describen a continuación.

Calidad genética: Es el indicador que considera el potencial genético de las plantas, para lograr un objetivo determinado ofreciendo la mejor respuesta productiva acorde a las necesidades del agricultor y del mercado, presentando un potencial genético con aspectos agronómicos y comerciales como: máximos rendimientos, adaptabilidad, resistencia o tolerancia a plagas y enfermedades.

Calidad física: En este atributo se considera la pureza determinando la descomposición de la muestra del lote de semilla donde indica el afecto por la presencia o ausencia de cualquier contaminante distinto de la semilla deseable, en el cual pueden ser: materiales inertes, tamaño, forma, color, contenido de humedad, peso volumétrico y semillas de otras especies.

Calidad fitosanitaria: En un lote de semilla, la calidad fitosanitaria es un indicador que determina si este encuentra libre de microorganismos que representen una gran amenaza de problemas fitopatológicos, siendo la semilla un medio de transporte del inóculo de patógenos causando daños en el poder germinativo de la semilla, ennegrecimiento total o parcial, así como en el cultivo establecido provocando problemas agronómicos siendo un agente causante de enfermedades en ciertas regiones, (Christensen y Kaufmann, 1976; INTA, 2019).

Algunas especies de hongos como : *Fusarium armeniacum*, *F. equiseti*, *F. musarum*, *F. sporotrichioides*, *Aspergillus flavus*, *A. nomius*, *A. parasiticus*, *Neotyphodium coenophialum* y *Penicillium verrucosum*, producen micotoxinas siendo un compuesto tóxico producido por los mohos que forman metabolitos secundarios representándose como antibióticos de forma natural afectando la calidad del producto, como consecuencia causa intoxicación en algunos casos la muerte en plantas, animales y seres humanos que lo consumen, (Carrillo y Gomes, 2007).

Con lo antes mencionado, para obtener semillas de calidad esto empieza desde el establecimiento adecuado del cultivo, así como también la cosecha, siendo un punto muy importante a tomar en cuenta, dado que la mayoría de los patógenos se desarrolla a humedades superiores del 90% y en daños mecánicos que presenta la semilla.

Una forma de combatir los patógenos en el cultivo y en la semilla es mediante cultivares resistentes (mejoramiento genético), utilizar semillas de buena calidad, tratamiento de la semilla, épocas de siembras adecuadas, raleo de plantas enfermas, acondicionamiento y almacenamiento adecuado de la semilla.

Calidad fisiológica: Es el indicador que considera el buen estado del embrión en la semilla, que nos permite demostrar la capacidad de germinación y vigor, para producir plántulas normales bajo condiciones controlables externas, permitiendo obtener resultados uniformes y rápidos asegurando el nuevo establecimiento de individuos. Para esta prueba se puede emplear diferentes tipos de substratos, algunos son: papel secante, papel filtro, papel kimpack, toallas de papel, algodón y arena, (McDonald, 1980; Moreno, 1984).

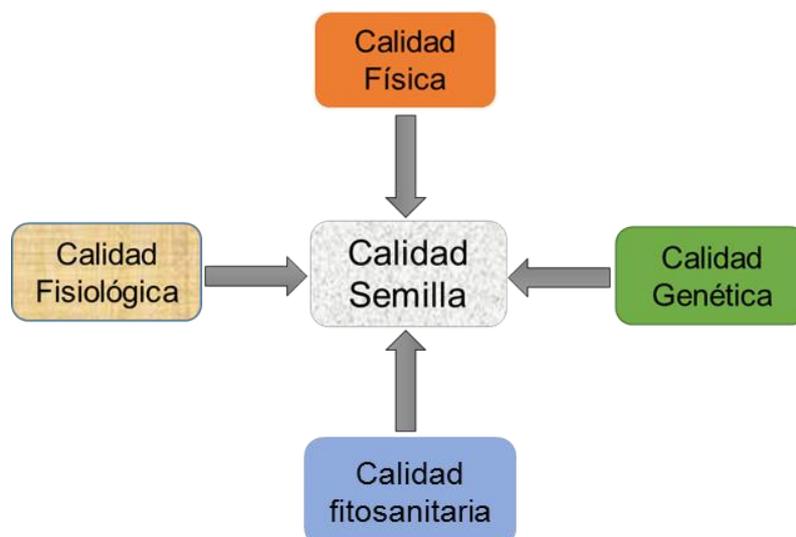


Figura 5. Atributos de la calidad de la semilla, (Jancko, 2014).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

1. Localización del experimento

El trabajo de investigación se llevó a cabo en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en el Laboratorio de ensayos de semillas, Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS), perteneciente al Departamento de Fitomejoramiento, Buenavista Saltillo, Coahuila, México. Que se localiza a los 25° 23' de Latitud Norte y 101° 00' de Longitud Oeste, con una altitud de 1743 msnm, una temperatura 17.8 °C y precipitación de 51. 4 mm promedio anual.

2. Materiales biológicos

Se utilizaron semillas de nueve genotipos de sorgo (Cuadro 4) producidos en el ciclo primavera verano del 2018, en el Campo Experimental "El Bajío", en la sede de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Dichos recursos genéticos investigados consistieron de accesiones de sorgo (*Sorghum bicolor*) grano rojo, pertenecientes al programa de producción de granos y semillas, del CCDTS, de la UAAAN.

Cuadro 4. Genotipos de sorgo (*Sorghum bicolor*) de grano rojo estudiados

No. de Accesoión	Genotipos	No. de Accesoión	Genotipos
1	LES 184	6	LES 291
2	LES 232	7	LES 296
3	LES 7	8	LES 231
4	LES 194	9	LES 278
5	LES 283		

3. Determinación de la calidad fitosanitaria de semillas de recursos fitogenéticos de sorgo

3.1 Prueba fitosanitaria para determinar la incidencia de infección de hongos Fitopatógenos en semilla sorgo

En esta prueba se llevó a cabo en los nueve genotipos de Sorgo utilizando tres repeticiones por genotipo, cada repetición constó 49 semillas, iniciando con la desinfección de 147 semillas de sorgo por cada genotipo con hipoclorito de sodio comercial al 10 %, donde se dejó reposar por tres minutos y decantado, luego se le enjuaga con agua destilada esterilizada, dejándola secar en la cámara de flujo laminar durante 2 horas, se posicionaron 49 semillas en una caja de plástico transparente conteniendo dos capas de papel filtro estéril, prehumedecido, espaciándolas equitativamente; dicha caja fue sellada con Parafilm y fungió como unidad experimental. Se incubaron las cajas a una temperatura de 25 °C por un tiempo de 48 horas, en una incubadora de temperatura controlada (Yamamoto Inc.®). Seguido del periodo de incubación se pusieron las cajas en un congelador a una temperatura de 20°C durante 24 horas después se pasaron a la cámara de incubación a una temperatura de 25 °C durante 10 días, después de esto se continuó con la evaluación, observando y contando individualmente las colonias fungosas presentes en cada semilla de sorgo con microscopio de disección marca feica, modelo CMC y microscopio compuesto marca van Guard. Para la identificación de los géneros de hongos fitopatógenos se basó en las claves taxonómicas especializadas en la identificación de hongos, Wharham *et al.* (1999). Se registraron los conteos de géneros de hongos fitopatógenos infectantes en la semilla. Los datos de cada género, considerados como variables, fueron expresados en porcentaje.

4. Determinación de la calidad fisiológica de semillas de recursos fitogenéticos de sorgo

4.1 Prueba fisiológica para determinar parámetros de germinación

Para estas pruebas se llevó a cabo en los nueve genotipos de sorgo, utilizando cuatro repeticiones de 100 semillas por genotipo, ISTA (2009); Moreno (1996). Se colocaron 25 semillas por repetición en posición uniforme horizontal sobre la mitad del papel Anchor (50 x 25 cm), donde el embrión de la semilla quedo hacia la parte inferior y la plúmula apuntando a la parte superior del papel y se cubrieron con otra toalla igual húmeda, se enrolló en forma de taco, se le identifico con un lápiz contra agua poniéndole la repetición, genotipo, fecha, dirección de emergencia de radícula y plúmula, se introdujo en bolsa de plástico por cada genotipo, dejando abierto la parte superior de lo bolsa. Se llevaron a una cámara de germinación a una temperatura de 25°C, donde se posicionaron las bolsas en forma vertical. La evaluación de las variables se realizó a los 10 días transcurridos, las cuales se describen a continuación.

Porcentaje de germinación (PG)

El porcentaje de germinación se evaluó a los 10 días de estar en la cama de germinación, en cada repetición se determinó la emergencia y desarrollo de las estructuras esenciales provenientes del embrión produciendo una plántula normal.

Germinación de plántulas normales (GPN)

El porcentaje de plántulas normales se contabilizó a los 10 días, determinando en cada repetición las estructuras esenciales que le permite poseer una plántula normal: sistema radicular bien desarrollado, plúmula sin daños presentando, una hoja bien desarrollada dentro o emergiendo del coleoptilo.

Germinación de plántulas anormal (GPA)

Las plántulas anormales se identificaron a los 10 días en cada repetición, se expresó en porcentaje. La clasificación de los tipos de plántulas anormales en sorgo se realizó de acuerdo a Seed Technology Laboratory (1960) como se representa en la figura, (Figura 6).

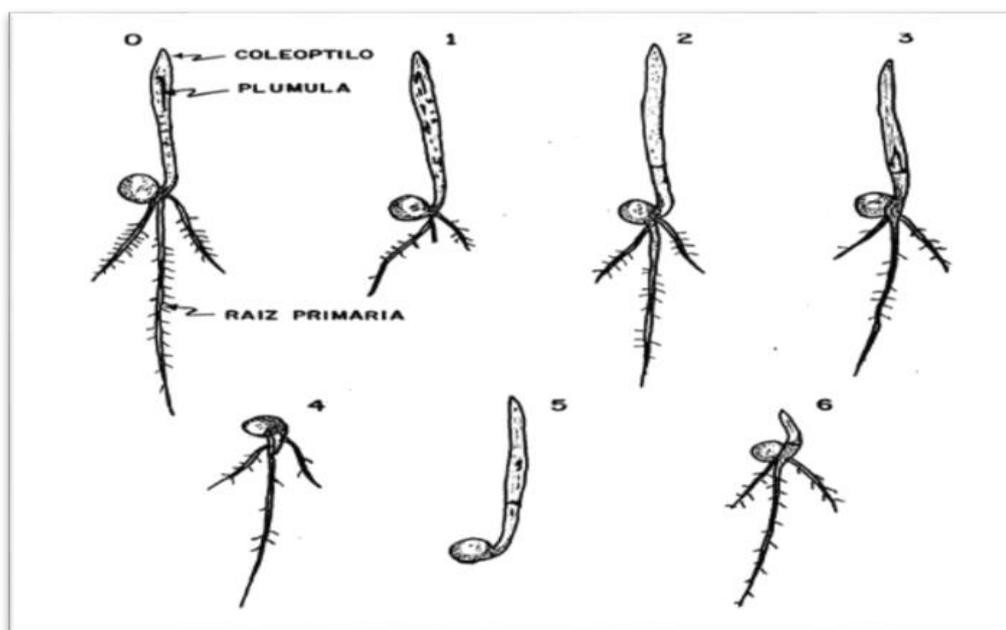


Figura 6. Clasificación de plántulas anormales: 1) raíces débiles, 2) coleoptilo vacío, 3) coleoptilo largo y plúmula corta, 4) sin coleoptilo y sin plúmula, 5) sin raíces, 6) coleoptilo corto y raíces desarrolladas y 0) plántula normal con raíces y plúmula bien desarrollados, (Seed Technology Laboratory, 1960).

Semilla sin germinar (SSG)

Esta variable se estimó a los 10 días después de estar en la cámara de germinación, por cada repetición se determinó las semillas que no germinaron al final del periodo de la prueba, que fueron los datos que se tomaron y representadas en porcentaje.

Longitud de radícula (LR) y Longitud de plúmula (LP)

A los 10 días se midió la longitud de radícula desde el cuello de la raíz hasta el ápice de la misma y la plúmula del cuello de la raíz hasta el ápice de la hoja más larga con una regla graduada expresado en centímetro (cm), para germinación de plántulas normales (GPN), como variables adicionales para enriquecer la prueba de germinación.

Las pruebas de germinación estándar y fitosanitarias se realizaron para la determinación de la asociación potencial que hay entre la micoflora de los nueve genotipos de sorgo y su calidad fisiológica.

5. Análisis Estadístico

5.1 Análisis de varianza multivariado

Dicho análisis incluyó los análisis de conglomerados y componentes principales, se utilizaron en la evaluación de las pruebas de germinación estándar y fitosanidad para determinar la asociación potencial de ambos parámetros evaluados en las accesiones de sorgo investigadas. Los datos se analizaron con el paquete estadístico Minitab 16 (2009).

5.1.1 Análisis de Conglomerados (AC)

Este análisis básicamente lo que realiza es una implementación del siguiente algoritmo:

1. Examina la matriz de datos original ($n \times p$) conformada por n poblaciones y p variables.
2. Estandariza la matriz de datos originales ($n \times p$) con la siguiente fórmula para transformar los datos a distribución normal con media 0 y varianza1.

$$Z = \frac{(x - \bar{x})}{\sigma}$$

Donde:

Z = Es la observación transformada a unidades de desviación estándar.

X = Es el valor original a estandarizar.

\bar{X} = Es la media de la variable original.

σ = Es la desviación estándar de la variable original.

3. Considerar la distancia euclidiana entre el par de poblaciones (i, j) con la siguiente fórmula.

$$E_{ij} = \left[\sum_{k=1}^p (X_{ik} - X_{jk})^2 \right]^{1/2}$$

Donde:

E_{ij} = Es la distancia entre la población i y la población j.

X_{ik} = Es el valor de la k-ésima variable sobre la i-ésima población.

Lo que da por resultado una matriz de distancias euclidiana en forma de matriz simétrica donde solo se escriben los elementos que están debajo de la diagonal principal.

4. Examina la matriz simétrica de distancias euclidianas donde agrupa el par de poblaciones (i, j) que son más similares y las une en un nuevo grupo; utilizando el procedimiento jerárquico, donde una población colocada en un grupo no puede ser agrupada en un paso posterior.
5. Forma una nueva matriz simétrica de distancias euclidiana para reflejar la supresión del par de poblaciones, i y j, que fueron unidos, enlazando la nueva población correspondiente al nuevo grupo hasta que la n poblaciones estén en un solo grupo, finalmente se obtiene el dendograma.

5.1.2 Análisis de Componentes Principales (ACP)

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

1. Es una combinación lineal de las x 's. Por ejemplo, para el primer componente. $Y_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1p}x_p = a'_1x$. Donde $x = [x_1 \ x_2 \dots \ x_p]$ es el vector de valores muestrales de las variables originales, y a_{ij} es el valor del j -ésimo elemento del vector característico a_1 asociado al valor característico más grande λ_1 .
2. En forma matricial para todos los componentes, $Y = XA$, en donde Y es la matriz de orden $n \times p$ de componentes principales; A es una matriz de orden $p \times p$ de vectores característicos y X es la matriz de orden $n \times p$ de observaciones.
3. La suma de cuadrados de los coeficientes a_{ij} para cada i ($j=1, 2, \dots, p$) es la unidad.
4. De todas las posibles combinaciones, Y_1 tiene la máxima varianza: $\text{Var}(Y_1) > \text{Var}(Y_2) > \dots > \text{Var}(Y_p)$.
5. Las Y no están correlacionadas, por lo que los componentes generados no están asociados entre sí.

5.2 Análisis estadístico univariado

Análisis de varianza, se realizó con un diseño completamente al azar y se utilizó para la comparación de medias de las variables analizadas de los grupos obtenidos en el análisis de conglomerados (AC) Salinas *et al.*, (2008). Se aplicó el siguiente modelo.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Observación del i -ésimo tratamiento en la j -ésima repetición.

μ = Media general del carácter en estudio.

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

E_{ij} = Efecto del error experimental.

$i = 1, 2, \dots, t$ (tratamientos).

$j = 1, 2, \dots, r$ (repeticiones).

Prueba de Tukey, se llevó a cabo para la comparación de medias de los grupos formados en el análisis de conglomerados, se realizó con la siguiente fórmula con probabilidad de error ($\alpha=0.05$).

$$DMSH = q(\alpha, T, \text{gl error}) S_{\bar{x}}$$

Dónde:

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

$$S_{\bar{x}} = \text{error estándar de la media} = \sqrt{CM_{\text{error}}/r}$$

CM_{error} = cuadrado medio del error; r = repeticiones.

El **coeficiente de variación** se estimó para cada una de las variables analizadas mediante la siguiente fórmula:

$$C. V. (\%) = \frac{\sqrt{CM_{EE}}}{\bar{x}} \times 100$$

Dónde:

C.V. = Coeficiente de variación.

CM_{EE} = Cuadrado medio del error experimental.

\bar{x} = Media general de tratamientos.

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

En la estimación de los análisis de varianza (ANOVA) se utilizó el paquete estadístico SAS.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Determinación de la calidad fitosanitaria de semillas de recursos fitogenéticos de sorgo

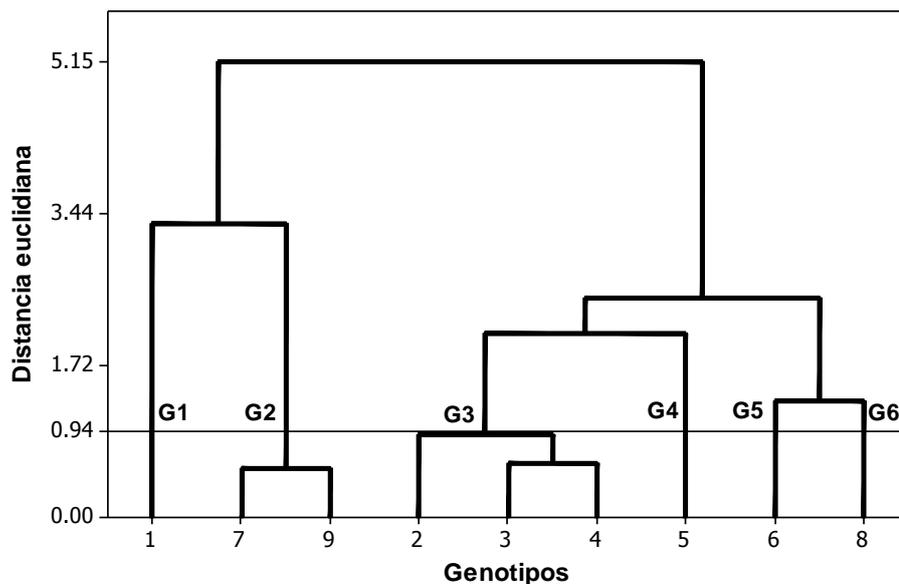
La sanidad de la semilla incluye la detección de organismos que producen enfermedades como los hongos fitopatógenos. La presencia de hongos afecta la apariencia física de la semilla y su calidad. En el Cuadro 5 se muestran los cinco géneros de hongos detectados en los nueve genotipos de sorgo.

Cuadro 5. Géneros de hongos presentes en la prueba de fitosanidad

Numero	Género de hongos	Clave
1	<i>Fusarium</i>	<i>Fus</i>
2	<i>Alternaria</i>	<i>Alt</i>
3	<i>Epicoccum</i>	<i>Epi</i>
4	<i>Gonatobotrys</i>	<i>Gon</i>
5	<i>Phoma</i>	<i>Pho</i>

Análisis de Conglomerado (AC)

En el AC (Figura 7) se evaluaron nueve genotipos de sorgo y las variables de fitosanidad: *Fus*, *Alt*, *Epi* y *Gon*; para este análisis el género *Phoma* no se tomó en cuenta ya que solo se presentó en una semilla del Genotipo 1 ((LES 184). En este análisis se midió la distancia euclidiana entre genotipos y en el dendograma se seleccionó seis grupos de genotipos, Crossa *et al.* (1994), al realizar el corte de gráfica a una distancia euclidiana de 0.94. Los análisis de varianza para comparar los promedios de las variables de fitosanidad de los seis grupos obtenidos en el AC. Se detectaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.05$) entre grupos para los géneros de hongos *Fus*, *Alt* y *Gon*, excepto para el género *Epi*. Solo en el género *Alt* se obtuvo un bajo coeficiente de variación, en los tres géneros restantes se realizó una transformación de los datos Robert (1994), Cuadro 6.



G(n)= grupos

Figura 7. Agrupación de genotipos de sorgo de acuerdo a la incidencia en semilla de los géneros de hongos fitopatógenos detectados en la prueba de fitosanidad.

Cuadro 6. Cuadrados medio y coeficiente de variación de los grupos del Análisis de conglomerados de la prueba fitosanidad

FV	GL	CM <i>Fus</i>	CM <i>Alt</i>	CM <i>Epi</i>	CM <i>Gon</i>
Grupos	5	2.37**	77.3**	1.6 ^{NS}	3.7 **
Error	12	0.34	13.6	0.6	0.5
Total	17				
C.V.(%)		18.6	4.4	35.5	19.0

** Altamente significativa al nivel de probabilidad de 0.005; ns= no significancia, *Fus*, *Epi*, *Gon* los C.V. de estas variables provienen de datos transformados por $\sqrt{x+0.05}$.

La prueba de medias (Tukey 0.05) para los seis grupos de genotipos formados en el análisis de conglomerados se presenta en el (Cuadro 7). El grupo G1 constituido por el Genotipo 1 LES 184 estadísticamente ($p \leq 0.05$) obtuvo altos porcentajes en los géneros *Fusarium* (17.0%) y *Gonatotryps* (34.7%), observándose una reducción en el porcentaje del género *Alternaría* (78.9%).

En el G2 los genotipos 7 LES 296 y 9 LES 282 fueron estadísticamente similares al G1, pero numéricamente se observó una reducción en el género *Fusarium* (13.2%), sin embargo se incrementaron los porcentajes de los géneros *Alternaría* (80.3%) y *Epicoccum* (10.9%).

En los grupos G3 (genotipos 2 LES 232, 3 LES 7 y 4 LES 194) y G4 (genotipo 5 LES 283), estadísticamente ($p \leq 0.05$) sobresalieron por mostrar bajos porcentaje de *Fusarium* (Cuadro 7). Para el grupo G4 (genotipo 5) se presentó la más alta incidencia de *Alternaría* (91.2%), reduciéndose los porcentaje de los géneros *Fusarium* (4.0%), *Epicoccum* (3.4%) y *Gonatobotrys* (8.2%).

El grupo G5 (genotipo 6 LES 291) se observó la mayor reducción en la incidencia de género *Epicoccum* (2.8%), sin embargo presentó una alta incidencia de *Alternaría* (89.8%). En el grupo G6 la presencia de *Gonatobotrys* (20.5%) fue estadísticamente ($p \leq 0.05$) similar al G1, además presentó un alto porcentaje del género *Fusarium* (13.6%). En semilla híbrida de sorgo Funk's HW 1758, se determinaron los mismos hongos que se presentaron en este investigación, excepto el género *Gonatobotrys*, donde afecto más a la germinación género *Fusarium* con (63%), comparando con *Alternaría* spp (87%) de germinación, (Viveros *et al.*, 1988).

Cuadro 7. Comparaciones de medias¹ de los grupos formados en el análisis de conglomerados en semillas de sorgo (*Sorghum bicolor*)

Grupos	Gen	Fus ² %	Alt %	Epi %	Gon %
G1	1	17.0 a	78.9 b	9.6 a	34.7 a
G2	7,9	13.2 a	80.3 b	10.9 a	8.6 b
G3	2,3,4	4.7 b	83.9 b	3.7 a	13.4 b
G4	5	4.0 b	91.2 a	3.4 a	8.2 b
G5	6	11.5 a	89.8 a	2.8 a	11.6 b
G6	8	13.6 a	87.8 a	3.5 a	20.5 a
Tukey ¹ 0.05		9.6	10.0	9.6	20.3

¹Medias con letras iguales en le mismas columnas son estadísticamente iguales (Tukey 0.05); ²Fus= *Fusarium*, Alt= *Alternaría*, Epi= *Epicoccum*, Gon= *Gonatobotrys*. Fus, Epi, Gon datos originales.

Análisis de Componentes Principales (ACP)

En el (Cuadro 8) se presentan los tres primeros componentes principales, con los cuales se explica el 97.4% de la variación total de los datos (proporción acumulada). El primer componente presento un valor mayor a la unidad, siendo el más relevante debido a que aportan una mayor explicación de la variación total.

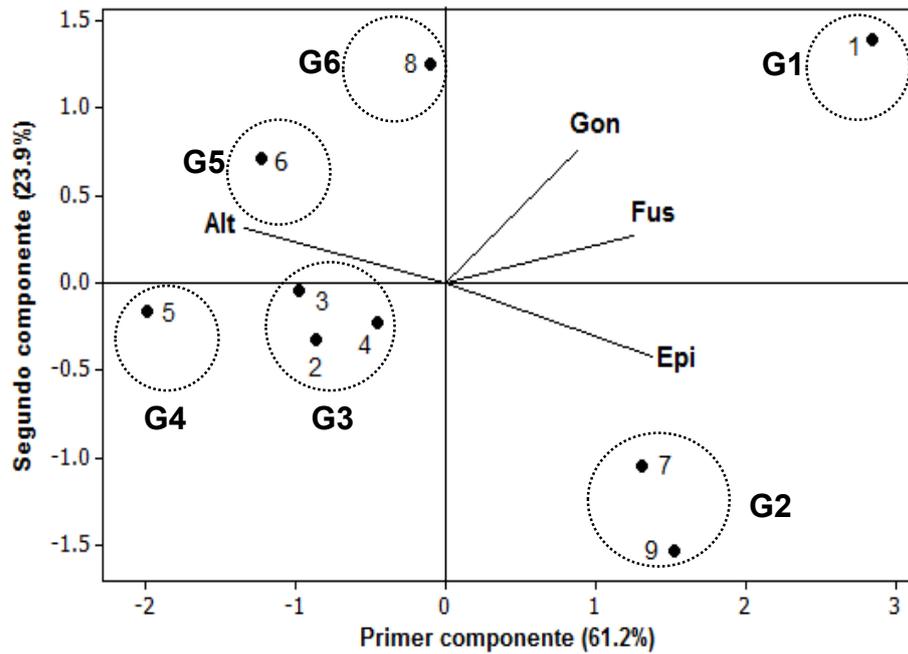
Con los dos primeros componentes explica el 85.0 % de la variación total de los datos. En el primer componente principal la variable-vector *Alternaría* se relacionó con la ubicación de los grupos G4, G5 y G6, ya que tuvieron altos porcentajes de este género, los grupos situados en el lado izquierdo de la gráfica (Figura 8); La variable-vector *Epicoccum* se ubica en el lado derecho de la gráfica, indicando que el G2 tuvo el más alto porcentaje de esta variable (Cuadro 7).

En el segundo componente principal las variable-vector *Gonatobotrys* y *Fusarium* se relaciona con la ubicación de los grupos G6 y G1 situados en la parte superior del segundo componente los cuales mostraron los más altos porcentajes para estos géneros de hongos (Cuadro 7).

Cuadro 8. Valores y vectores propios para los tres primeros componentes principales de cuatro variables agronómicas evaluadas en nueve genotipos de sorgo

	CP1	CP2	CP3
Valor propio	2.4453	0.9559	0.4966
Proporción	61.2	23.9	12.4
Acumulada	61.2	85.0	97.4
Variable	Vectores propios		
%Fus	0.509*	0.283	-0.750*
%Alt	-0.551*	0.323	-0.498*
%Epi	-0.558*	-0.440*	-0.080
%Gon	0.355	0.788*	0.429*

*Cargas del vector propio con mayor peso; Fus= *Fusarium*; Alt= *Alternaría*; Epi= *Epicoccum*; Gon= *Gonatobotrys*.



Fus= *Fusarium*, *Alt*= *Alternaría*, *Epi*= *Epicoccum*, *Gon*= *Gonatobotrys*.; G (n)= Grupos.

Figura 8. Gráfica biplot que muestra las variables-vector y la distribución de los nueve genotipos de sorgo, en base a los dos primeros componentes principales.

El género *Alternaría* se correlacionó negativamente con los tres géneros de hongos (Figura 8, Cuadro 9), observándose una correlación negativa y altamente significativa ($r=-0.826^{**}$) entre las variables *Alternaría* y *Epicoccum*). Dado que *Alternaría* spp puede crecer desde -3°C hasta 35°C Sommer (1985), alterando alimentos vegetales almacenados en condiciones de refrigeración o congelación Barkai-Golan y Paster (2008).

Cuadro 9. Correlaciones fenotípicas entre las variables consideradas en el ACP

	<i>Fus</i> ¹	<i>Alt</i>	<i>Epi</i>
<i>Alt</i>	-0.433		
<i>Epi</i>	0.584	-0.826 ^{**}	
<i>Gon</i>	0.487	-0.325	0.154

^{**}Altamente significativo al nivel de probabilidad del 0.05; ¹*Fus*= *Fusarium*, *Alt*= *Alternaría*, *Epi*= *Epicoccum*, *Gon*= *Gonatobotrys*.

2. Determinación de la calidad fisiológica de semillas de recursos fitogenéticos de sorgo

Análisis de conglomerados (AC)

Se realizó en base a nueve genotipos de sorgo y cuatro variables relacionadas con las pruebas de germinación, incluyendo adicionalmente las variables de longitud de plúmula y radícula para enriquecer los datos de germinación. Se midió la distancia euclidiana entre genotipos y en el dendograma se seleccionaron grupos de genotipos, considerando la utilidad de los grupos formados, Crossa *et al.* (1994). En los resultados obtenidos al efectuar el corte de gráfica a una distancia euclidiana de 1.90 se formaron seis grupos de interés que se presentan en la (Figura 9 y Cuadro 10).

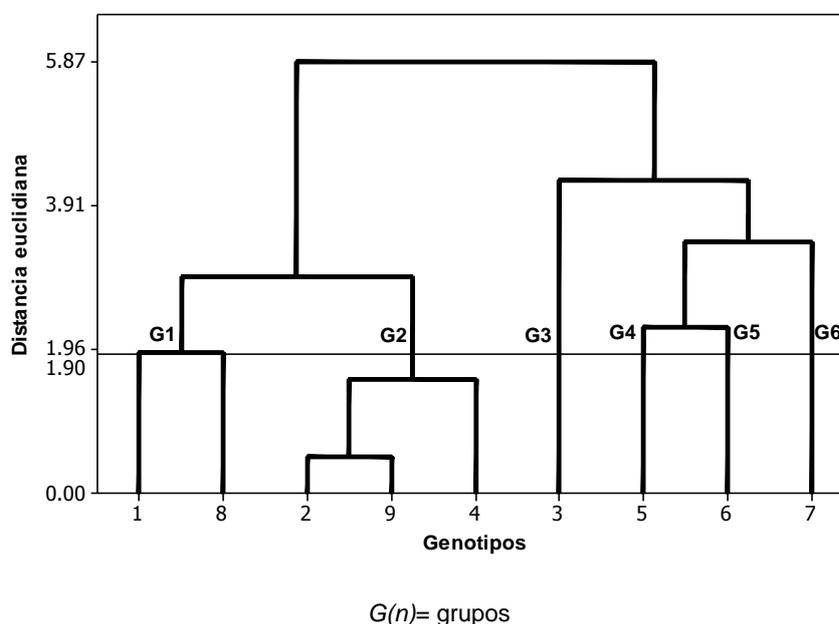


Figura 9. Dendrograma de agrupación en nueve genotipos de sorgo de acuerdo a las variables evaluadas en la prueba de germinación estándar.

Los análisis de varianza para comparar los promedios de las variables de germinación, longitud de radícula y plúmula de los seis grupos obtenidos en el análisis de conglomerado, Salinas *et al.*, (2008), mostraron diferencias altamente significativas entre grupos (Cuadro 10) excepto en la variable germinación de plántulas anormales (GPA). En cuatro variables se obtuvieron bajos coeficientes de variación.

Cuadro 10. Cuadrado medio (CM) y coeficiente de variación (C.V%) de los seis grupos obtenidos en el AC en la prueba de germinación estándar

FV	GL	CM G ¹	CM SSG ²	CM PN	CM PA ²	CM LR	CM LP
Grupos	5	486.7**	5.14**	551.5**	1.41ns	2.7**	8.2**
Error	18	68.2	0.59	82.5	0.77	0.3	0.7
Total	23						
C.V.(%)		10.9	16.3	13.1	35.5	3.9	7.3

**= Alta significancia al nivel de probabilidad de 0.005; ns= no significancia. ¹PG= porcentaje de germinación, SSG= semillas sin germinar, GPN= germinación de plántulas normales, GPA= germinación de plántulas anormales, LR= longitud de radícula, LP= longitud de plúmula, ²SSG, ²GPA provienen de datos transformados por $\sqrt{x+0.05}$.

Los coeficientes de variación de semillas sin germinar SSG (16.3%) y germinación de plántulas anormales GPA (35.5%) provienen de datos transformados, Robert, (1994). En las pruebas de germinación se obtienen altos coeficientes de variación para estas variables, como los reportados por Cordero (2019) en maíz.

La prueba medias (Tukey 0.05) para los seis grupos de genotipos formados en el análisis de conglomerado (AC) mostró amplia variación entre los promedios de las variables analizadas, excepto en germinación de plántulas anormales (Cuadro 11). Los grupos que estadísticamente ($p \leq 0.05$) presentaron mayor porcentaje de germinación fueron: G1 (84.5%) y G2 (90.3%) que influyeron los genotipos: 1, LES 184; 8, LES 231; 2, LES 232; 4, LES 194 y 9, LES 278, comparables al 85% obtenido por Morrell y Pérez (2015) en genotipos de sorgo de grano rojo; estos grupos también presentaron altos porcentajes de plántulas normales (GPN) y bajos porcentajes de semillas sin germinar (SSG).

Cuadro 11. Comparaciones de medias¹ de los grupos formados en el análisis de conglomerados en semillas de sorgo (*Sorghum bicolor*)

Grupos	Gen	PG ² %	SSG ³ %	GPN %	GPA ³ %	LR cm	LP cm
G1	1,8	84.5 a	15.5 b	75.5 a	9.0 a	14.8 b	11.5 b
G2	2,4,9	90.3 a	9.6 b	85.6 a	4.6 a	14.9 b	11.8 b
G3	3	61.0 c	39.0 a	52.0 b	9.0 a	15.3 b	10.0 c
G4	5	66.0 c	34.0 a	62.0 b	4.0 a	15.8 a	11.8 b
G5	6	78.0 b	22.0 a	73.0 a	5.0 a	16.8 a	11.8 b
G6	7	75.0 c	25.0 a	65.0 a	10.0 a	16.2 a	14.4 a
Tukey 0.05 ¹		18.5	18.8	20.4	8.9	1.3	1.9

¹Medias con letras iguales en le mismas columnas son estadísticamente iguales (Tukey 0.05); ²PG= porcentaje de germinación, SSG= semillas sin germinar, GPN= germinación de plántulas normales, GPA= germinación de plántulas anormales, LR= longitud de raíz, LP= longitud de plúmula, ³SSG, ³GPA datos originales.

En contraste, los grupos G3 (61.0%) y G4 (66.0%), que influyeron los genotipos 3, LES 7 y 5, LES 283, presentaron los más bajos porcentajes de germinación ($p \leq 0.05$) y mostraron además características negativas como un alto porcentaje de semilla sin germinar y un bajo porcentaje de germinación de plántulas anormales ($p \leq 0.05$). El G3 en esta prueba mostró estadísticamente ($p \leq 0.05$) una reducida longitud de plúmula comparada con el resto de genotipos.

Los grupos G5 (78.0%) y G6 (75.0%) también mostraron bajos porcentajes de germinación, (Cuadro 10); además presentaron un alto porcentaje de SSG, sin embargo, se distinguen por tener los más altos promedios en longitud de radícula (LR). Con respecto a lo que indica INA (2020) cuando el porcentaje de germinación se encuentra entre el rango 85 y 100 % se le considera como de buena calidad óptima, cuando el porcentaje está entre 84 y 60 %, se considera de calidad regular y con porcentajes menor de 59 % se le considera mala calidad. En la (Figura 10) se presenta una muestra de las variables evaluadas en la prueba de germinación en los genotipos de sorgo.



Figura 10. Variables evaluadas en la Prueba de germinación aplicada a nueve genotipos de sorgo (*Sorghum bicolor*). A. Germinación, B. plántulas normales, C. plántulas anormales y D. semillas sin germinar. (Fuente propia).

Análisis de Componentes principales (ACP)

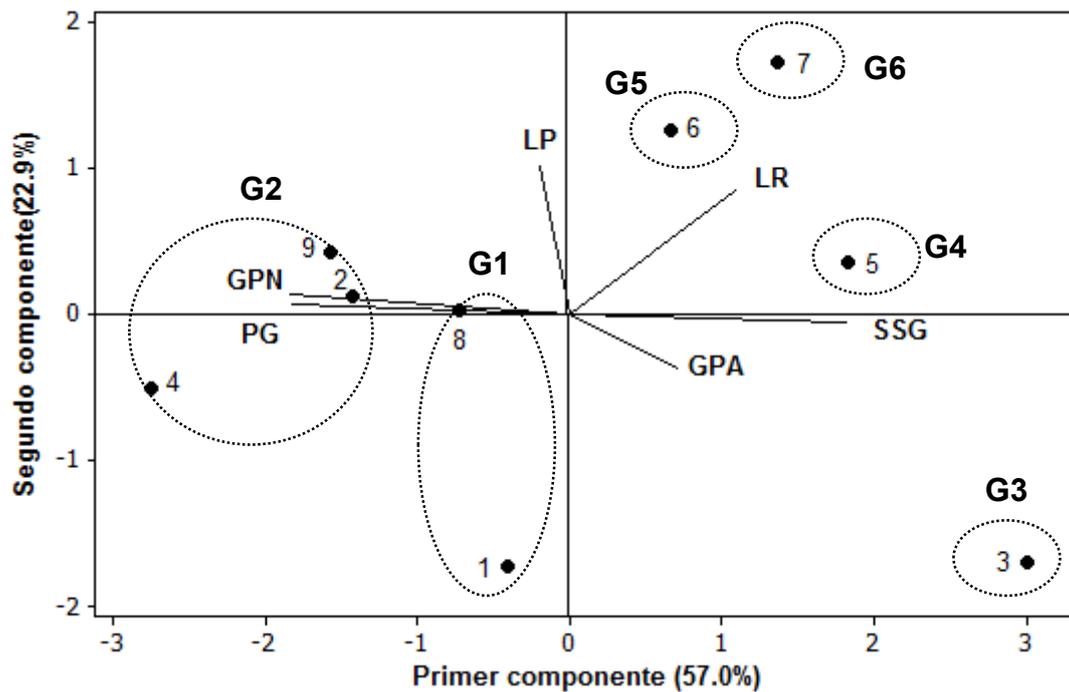
En el (Cuadro 12) se presentan los tres primeros componentes principales, con los cuales se explica el 96.2% de la variación total de los datos (proporción acumulada). Los dos primeros componentes presentaron valores propios mayores a la unidad, siendo los más relevantes debido a que aportan una mayor explicación de la variación total. Estos dos componentes explicaron el 79.9% de la variación total de los datos.

En el primer componente principal las variables-vector con mayor peso porcentaje de germinación PG y germinación de plántulas normales GPN influyeron en la ubicación de los grupos G1 y G2 los cuales tuvieron los más altos promedios para estas variables (Cuadro 11), y se localizan en el lado izquierdo de la gráfica (Figura 11). La variable semilla sin germinar con mayor peso se relacionó con los grupos G3, G4, G5 y G6 que se ubican en el lado derecho de la gráfica, estos grupos presentaron altos promedios de la misma variable (Cuadro 11). En el segundo componente principal, las variables con mayor peso se relacionaron con la longitud de radícula (LR) y plúmula (LP) y se asocian con la ubicación de los grupos G5 y G6 que se localizan en el lado superior del segundo componente principal. En el tercer componente principal sobresalen las variables con mayor carga fueron GPA y LP (Cuadro 12).

Cuadro 12. Valores y vectores propios para los tres primeros componentes principales de seis variables evaluadas en calidad fisiológica de nueve genotipos de sorgo

	CP1	CP2	CP3
Valor propio	3.4175	1.3767	0.9789
Proporción	57	22.9	16.3
Acumulada	57	79.9	96.2
Variable	Vectores propios		
%PG ¹	-0.532*	0.049	0.131
%SSG	0.535*	-0.046	-0.131
%GPN	-0.535*	0.102	-0.063
%GPA	0.206	-0.266	0.865*
Cm LR	0.319	0.612*	-0.154
Cm LP	-0.055	0.735*	0.436*

*Cargas del vector propio con mayor peso; ¹PG= porcentaje de germinación, SSG= semillas sin germinar, GPN= germinación de plántulas normales, GPA= germinación de plántulas anormales, LR= longitud de radícula, LP= longitud de plúmula.



G(n)=Grupos, PG= porcentaje de germinación, SSG= semillas sin germinar, GPN= germinación de plántulas normales, GPA= germinación de plántulas anormales, LR= longitud de radícula, LP= longitud de plúmula.

Figura 11. Gráfica biplot que muestra las variables-vector y la distribución de los 9 genotipos de sorgo, en base a los dos primeros componentes principales.

Correlaciones fenotípica entre las variables fisiológicas

En el Cuadro 13 se observa que se presentó una correlación positiva y altamente significativa entre germinación de plántulas normales GPN y porcentaje de germinación PG ($r= 0.979^{**}$), en la Figura 11 esto se representa por un ángulo agudo menor al 90° entre las dos variables, Balzarini (2006). La variable-vector semilla sin germinar (SSG) se correlación negativa y significativamente con porcentaje de germinación (PG) ($r= -1.00^{**}$) y con germinación de plántulas normales (GPN) ($r= -0.977^{**}$) indicando que en los genotipos de los grupos G3, G4, G5 y G6 se redujo su porcentaje de germinación (PG) y germinación de plántulas normales (GPN), debido a que presentaron altos porcentajes de semilla sin germinar (SSG). El alto porcentaje de (SSG) en estos grupos puede ser ocasionado por la presencia de factores desfavorables en la germinación de la semilla como: presencia de semillas duras (que indican una forma de letargo); semillas frescas (que presentan condiciones de latencia); o semillas muertas, las cuales absorben agua, son blandas y con frecuencia tienen mohos, FAO y AfricSeeds (2019). En la correlación positiva entre las variables LR y LP ($r= 0.411$) destaca la presencia del genotipo 7, LES 296 que pertenece al G6 ya que presentó una alta longitud de radícula de (16.2 cm) y la mayor longitud de plúmula (14.4 cm).

Cuadro 13. Correlaciones fenotípicas entre las variables consideradas en el ACP

	PG ¹	SSG	GPN	GPA	LR
SSG	-1.000**				
GPN	0.979**	-0.977**			
GPA	-0.266	0.260	-0.458		
LR	-0.522	0.532	-0.464	-0.078	
LP	0.179	-0.165	0.160	0.022	0.411

**Altamente significativo al nivel de probabilidad del 0.05; ¹PG= porcentaje de germinación, SSG= semillas sin germinar, GPN= germinación de plántulas normales, GPA= germinación de plántulas anormales, LR= longitud de raíz, LP= longitud de plúmula.

Plántulas Anormales

Las plántulas anormales son aquellas que no presentan potencial para convertirse en plantas normales aun cuando se cultiven en suelos de buena calidad y en condiciones favorables de humedad, temperatura y luz, FAO y AfricSeeds (2019). Con respecto al tipo plántulas anormales detectadas en los

nueve genotipos de sorgo se presentan en el (Cuadro 14), los promedios obtenidos utilizando la clasificación para plántulas anormales en sorgo reportadas (Seed Technology Laboratory, 1960).

En el Genotipo 1, LES 184 se presentó un 10% de GPA, que incluyeron cinco tipos de plántulas anormales, el más alto porcentaje (4 %) correspondió al de plántulas sin coleoptilo y sin plúmula (An4) siendo el único genotipo que registró anomalías del tipo An2 y An3 en un promedio del 2%.

Cuadro 14. Promedios de la prueba de germinación y su relación con tipos de plántulas anormales en nueve genotipos sorgo

Gen	PG ¹ %	SSG %	GPN %	GPA %	LR cm	LP cm	Tipos de GPA (%) ²					
							An1	An2	An3	An4	An5	An6
1	84	16	74	10	14.56	10.50	1	2	2	4	1	0
2	88	12	83	5	15.18	11.79	0	0	0	1	0	4
3	61	38	52	9	15.35	9.98	1	0	0	1	0	7
4	95	5	90	5	14.32	11.63	0	0	0	1	0	4
5	66	34	62	4	15.83	11.80	0	0	0	1	0	3
6	78	22	73	5	16.89	11.83	2	0	0	2	1	0
7	75	25	65	10	16.29	14.45	2	0	0	1	0	7
8	85	15	77	8	14.99	12.56	3	0	0	1	1	3
9	88	12	84	4	15.15	12.16	0	0	0	1	0	3

¹PG= porcentaje de germinación, SSG= semillas sin germinar, GPN= germinación de plántulas normales, GPA= germinación de plántulas anormales; ²An1= raíces débiles, An2= coleoptilo vacío, An3= coleoptilo largo y plúmula corta, An4= sin coleoptilo y sin plúmula, An5= sin raíces y An6= coleoptilo corto y raíces desarrolladas.

Los Genotipo 3, LES 7 con un 9% de germinación de plántulas anormales (GPA) y 7, LES 296 con un 10% de (GPA), tuvieron tres tipos de plántulas anormales: raíces débiles (An1), sin coleoptilo y sin plúmula (An4) y coleoptilo corto y raíces desarrolladas (An6), el más alto porcentaje (7 %) correspondió a (An6).

En el genotipo 8, LES 231 tuvo un 8% de (GPA) presentando cuatro tipos de plántulas anormales, predominaron las que tuvieron raíces débiles (An1) y las

que presentaron coleoptilo corto y raíces desarrolladas (An6) con porcentajes del 3 %.

El genotipo 6, LES 291 con un 5% de (GPA) tuvo tres tipos de plántulas anormales, predominando las de raíces débiles (An1) y plántulas sin coleoptilo y sin plúmula (An4), en porcentajes del 2 %.

Los genotipos 2, LES 232 y 4, LES 194 con un 5% (GPA) y los genotipos 5, LES 283 y 9, LES 278 con un 4% de (GPA), presentaron dos tipos de anomalías predominando la An6 (plántulas con coleoptilo corto y raíces desarrolladas), con porcentajes de 4% y 3%.

3. Asociación entre la micoflora de nueve genotipos de sorgo y su calidad fisiológica

Con respecto a los resultados obtenidos en los genotipos de sorgo para determinar su calidad fitosanitaria y fisiológica, al obtener una visión comparativa en los Cuadros 7 y 11, se observó una alta incidencia de *Fusarium* spp. en los genotipos: 1, LES 184 (17.0%) y 8, LES 231 (13.6%) y de *Gonatotryps* spp. en los mismos genotipos con una incidencia 1(34.7%) y 8 (20.5%), respectivamente, sin embargo estas altas incidencias no afectaron el porcentaje de germinación que estuvo por arriba de 84%.

Los hongos fitopatógenos *Phoma* spp. y *Epicoccum* spp. son de muy poca importancia porque sus efectos son insignificantes actuando como saprófitos invasores secundario, Zillinsky (1984); Wharham *et al.* (1999), lo cual se comprueba en los resultados obtenidos donde *Phoma* spp. solo estuvo presente en una semilla del genotipo 1, LES 184 y la incidencia de *Epicoccum* spp. fue muy baja en un rango de 2.8 a 10.9%. Las especies de *Alternaría* pueden ser transportadas en el grano o semilla y mediante el monocultivo pueden convertirse en un problema serio, Bautista *et al.* (2011). Los genotipos con bajo porcentaje de germinación 3, LES 7 (61%); 5, LES 283 (66%); 6, LES 291 (78 %), fueron los que presentaron la más alta incidencia de *Alternaría* spp. con valores de 3 (85.03%), 5 (95.16%) y 6 (89.8%).

Los genotipos 2, LES 232 y 4, LES 194 sobresalieron por su alto porcentaje de germinación 2(88%) y 4 (95%) y su baja incidencia de *Fusarium* spp. Con un promedio (4.7%), para estos genotipos potencialmente la germinación no se vio afectada por la presencia de tal incidencia en semilla de *Fusarium* spp. El *Fusarium* spp. es uno de los hongos fitopatógenos a los que se le ha prestado especial atención por su amplia distribución (Chavarri *et al.*, 2017).

Por otra parte, se han reportado altas incidencias del genero *Fusarium*, en grano de sorgo, en donde se hicieron evaluaciones toxigénicas de fumonisinas que generaron niveles de contaminación menos del 1% de la concentración en diferentes especies del mismo género, aisladas de dicho grano, en las que predomino *F. verticillioides* con un 62.2 %, Carillo *et al.* (2001). Entonces, aunque la incidencia de infección en semilla fue entre un rango de 4.0 a 17.0 % (Cuadro 7), se considera necesario tomar en cuenta su detección en la selección de genotipos de sorgo, ya que es importante reducir la presencia de *Fusarium* en la semilla-grano dado que provoca potencialmente pérdidas en la cosecha Betanzos (2001) y un problema en la salud de organismos que la ingieran a niveles estipulados por organizaciones internacionales asociados con la salud humana y pecuaria por las micotoxinas que produce dicho hongo fitopatógenos, (Mendoza *et al.*, 2006).

La zona en donde se llevó acabo la producción de las accesiones de los nueve genotipos de sorgo (*Sorghum bicolor*), se considera como un área adecuada para procesos de selección de genotipos de sorgo para producir semilla-grano, (Rooney y Serna, 2000; Chessa, 2013), ya que es un ambiente semidesértico de baja precipitación, humedad relativa y altas temperaturas, que en general limitan el incremento de las poblaciones de hongos fitopatógenos que puedan afectar al cultivo en sus diferentes etapas fenológicas, incluyendo la semilla-grano, por lo que se recomienda el agro-ecosistema del semidesierto para producir semilla de sorgo cuando cuente con condiciones hídricas y agronómicas que lleven al éxito la producción del cultivo.

V. CONCLUSIONES

- Los hongos fitopatógenos detectados en la prueba de fitosanidad fueron: *Fusarium* spp., *Alternaría* spp, *Epicoccum* spp, *Gonatobotrys* spp y *Phoma* spp.
- El análisis de conglomerados para determinar calidad fitosanitaria genero seis grupos entre los cuales destaco a los grupo tres y cuatro que incluyo a los genotipos: 2, LES 232; 3, LES 7; 4, LES 194 y 5, LES 283, los cuales obtuvieron los porcentajes del género *Fusarium* más bajos de las accesiones investigadas, con 4.7% y 4.0% respectivamente.
- El análisis de componentes principales para determinar calidad fitosanitaria, determino una correlación negativa entre *Fusarium*, *Gonatobotrys* y *Epicoccum* contra *Alternaría*, la cual fue detectada con la mayor incidencia en los nueve genotipos estudiados con un rango de (78.9 a 91.2 %).
- El análisis de conglomerados para determinar calidad fisiológica genero seis grupos entre los cuales destaco el grupo dos y uno que incluyeron a los genotipos: 2, LES 232; 4 LES 194; 9 LES 278; 1, LES 184 y 8, LES 231, los cuales presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) mostrando los más altos porcentajes de germinación (84.5%) y (90.3%), mayor porcentaje germinación de plántulas normales (75.5%) y (85.6%) y un reducido porcentaje de semillas sin germinar (15.5%) y (9.6%), respectivamente.
- El análisis de componentes principales para calidad fisiológica mostró una correlación positiva y altamente significativa ($r=0.979^{**}$) entre porcentaje de germinación y germinación de plántulas normales; una correlación negativa altamente significativa ($r= -1.000^{**}$) entre porcentaje de germinación y semillas sin germinar y una correlación negativa altamente significativa ($r= -0.977^{**}$) entre germinación de plántulas normales y semillas sin germinar, indicando que los grupos: 3, 4, 5 y 6

que incluyeron a los genotipos: 3, LES 7; 5, LES 283; 6, LES 291; 7, LES 296, tuvieron altos porcentajes de semillas sin germinar.

- El genotipo 7, LES 296 presentó las mejores características longitud de radícula (16.2 cm) y Longitud de plúmula (14.4 cm).
- Los genotipos: 2, LES 232; 4, LES 194 y 9, LES 278 mostraron un rango de germinación de plántulas anormales de 4 a 5%; correspondiendo del 3 al 4% al tipo de plántulas anormales de coleoptilo cortó y raíces desarrolladas.
- Los genotipos: 2, LES 232 y 4, LES 194, son potencialmente aptos para ser seleccionados para continuar su proceso de Fitomejoramiento, por tener la mejor calidad fisiológica y fitosanitaria de semilla.

VI. LITERATURA CITADA

- Balzarini, A., Arroyo A., Bruno C. y Rienzo J.** 2006. Análisis de datos de marcadores con Info-Gen. XXXV Congreso Argentino de Genética, San Luis. Argentina.
- Bautista, E., Leyva G., Villaseñor E., Huerta J. y Mariscal A.** 2011. Hongos asociados al grano de trigo sembrado en áreas del centro de México. Rev. Mex. Fitopatol. 29:175-177.
- Betanzos, E.** 2001. Variedades resistentes, una opción para reducir la pudrición de mazorca en Chiapas, México. Agric. Téc. Méx. 27(1):57-67.
- Barkai-Golan, R. y Paster, N.** 2008. Mouldy fruits and vegetables as a source of mycotoxins: part 1. World Mycotoxin Journal 1, 147-159.
- Bruggers, L; y Jaeger M.**1982. Bird pests and crop protection strategies for cereals of the semi-arid African tropics. In:ICRISAT. (1982). Sorghum in the eighties: proc. Int. symp. On sorghum, ICRISAT, India.
- Carillo, L., Molina S., Benites M.** 2001. Especies de *Fusarium* toxígenicas en sorgo de grano. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy. P 17.
- Carillo, L., Gómez E.** 2007. Micotoxinas. Manual de microbiología de los alimentos. Pp 89,90 y 95.
- CEA.** Centro de Estadística Agropecuaria.1999. Situación actual y perspectiva de la producción de sorgo en México. p9.
- CENTA,** (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova,” sv). 2007. (Guía Técnica) del Sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench). La Libertad El Salvador.

- Chavarri M., Barroyeta J., Ochoa Y, Rumbos N. y Alezone J. 2017.** Detección de *Fusarium verticillioides* y fumonisinas en granos de maíz blanco provenientes de los estados Yaracuy y Guárico, Venezuela. *Nova Scientia*. 9: 173-184.
- Chessa, A, 2013.** Sorgo Gramifero - Características y Manejo Del Cultivo.
- Christensen y Kaufmann.1976.** Contaminación por hongos en, granos almacenados. México, Pax-México. 199 p.
- Compton, P.1990.** Agronomía del Sorgo. San Andrés. CENTA. El Salvador. Pp 97-104.
- Cordero, A. 2019.** Protección fitosanitaria de semilla de maíz acondicionada para vida de anaquel con fungicidas sintéticos. Tesis de Maestría. UAAAN. Saltillo, Coahuila. 84p.
- Crossa, J., Taba, S., Eberhart, P y Bretting R. 1994.** Practical considerations for maintaining germplasm in maize. *Theor Appl Genet*. 89: 89-95.
- DOGGETT, H.1988.** Sorgo. 2º Ed. Agricultura tropical. Serie: Longman. P. 512.
- Doria, J. 2010.** Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025859362010000100011. (28, septiembre, 2021).
- FAO y AfricaSeeds. 2019.** Materiales para capacitación en semillas - Módulo 3: Control de calidad y certificación de semillas. Roma.
- FAO. 2000.** Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Manual prácticas integradas de manejo y conservación de suelo. Boletín no. 8 de tierras y aguas de la FAO. Roma, Italia. 234 p.

- FAO.** 2015. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <http://faostat.fao.org/site/342/default.aspx>. (27, septiembre, 2021).
- FAO.** 2020. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Cultivos y productos de ganadería. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>. (30, septiembre, 2021).
- FAO.** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2011. <http://faostat.fao.org/>. (24, septiembre, 2021).
- Farras, T.** 2018. Calidad de semilla: qué implica y cómo determinarla. Laboratorio de Calidad de Semillas Instituto Nacional de Semillas P 64.
- Fedeagro.** 2019. La importancia estratégica de la semilla en los procesos Agrícolas. <https://www.agrositio.com.ar/noticia/204216-la-importancia-estrategica-de-la-semilla-en-los-procesos-agricolas>. (28, septiembre, 2021).
- Fontanetto, H. y Keller O.** 2008. Fertilización en Sorgo. Maizar, <https://www.profertil.com.ar/wp-content/uploads/2020/08/fertilizacion-en-sorgo.pdf> (22,septiembre,2021).
- Forratec.** 2015. Plagas y enfermedades en el cultivo de sorgo. https://forratec.com.ar/newsletter/00_responsive/fls-2015-11-21.html (23, noviembre, 2021).
- Gallo, C., Arango M. y Craviotto R.** 2017. Una prueba nueva para estimar el vigor en lotes de semillas: Prueba de Emergencia de Radícula. Para mejorar la producción 56. INTA EEA Oliveros.

- INA.** Instituto Nacional de Aprendizaje. 2020. Prueba de germinación para semillas de hortalizas. Núcleo Agropecuario. https://www.inapidte.ac.cr/pluginfile.php/31222/mod_resource/content/2/PDF%20Prueba%20de%20germinaci%C3%B3n.pdf. (16, noviembre, 2021).
- Info Agro.** 2016. El control de malezas en el cultivo de sorgo. <https://mexico.infoagro.com/el-control-de-malezas-en-el-cultivo-de-sorgo/> (21, septiembre, 2021).
- INIFAP- CIRNE.** 2001. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias – Centro de Investigación Regional del Norte campo Experimental Ébano. Guía para la asistencia técnica agrícola. Área de influencia del campo Experimental Ébano, México. pp 12,13 y 14.
- INIFAP.** Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 2016. Recomendaciones para la producción de semilla de frijol, sorgo, trigo y maíz. Pp 9 y 12.
- INTA.** Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 2019. Protocolo para la producción de semilla de calidad de maíz en zonas bajas. pp 13 -14.
- ISTA.** International Seed Testing Association. 2009. International Rules for Seed Testing. Ed. Bassersdorf, CH-Switzerland. 700 p.
- Jancko, C.** 2014. Producción de semillas. Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno. <https://es.slideshare.net/cjancko/produccion-de-semillas-unidad-i-33540107>. (22, noviembre, 2021).
- Johnson, D.** 2000. Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos. Internacional Thompson Editores S.A de C. V. New York, U.S.A. Pp. 3 – 4.

- Leyva, B.** 1998. Determinación de periodos críticos y niveles de infestación del cogollero (*Spodoptera frugiperda*, J. E. Smith) en el cultivo de maíz (*Zea mays*) en época de primera. Managua Nicaragua. 54 p.
- McDonald, B.** Assessment of seed quality. 1980. HortScience, Alexandria, v. 15, n. 6, Pp. 784-788.
- Mendoza, M., Andrio E., López A., Rodríguez R., Latournerie L. y Rodríguez, H. S. A.** 2006. Tasa de infección de la pudrición del tallo en maíz causada por *Fusarium moniliforme*. Agron. Mesoam. 17(1):19-24.
- Moench, C.** 1794. Sorgo común. Methodus Plantas Horti Botanici et Agri Marburgensis. https://www.ecured.cu/Sorgo_com%C3%BAn. (17, noviembre, 2021).
- Moreno, E.** 1984. Análisis físico y biológico de las semillas agrícolas. . Imprenta Universidad Nacional Autónoma de México. Primera edición. Pp 75, 103 y 106.
- Moreno, E.** 1996. Análisis físico y biológico de las semillas agrícolas. Imprenta Universidad Nacional Autónoma de México. Tercera edición. 29- 393pp.
- Moreno, J.** 2011. Guía del cultivo de sorgo para grano en el norte de Sinaloa. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Fundación produce Sinaloa, A.C., P11, 22 y 23.
- Morrell, A. y Pérez A.** 2015. Evaluación de componentes de rendimiento en tres variedades de sorgo rojo en el sur de Las Tunas. Centro Universitario Municipal Jobabo, Las Tunas, Cuba.
- Nogales, M.** 2007. Mecanización de cosecha a cosecha: maquinaria, equipos auxiliares e implementos. In: III jornada iberoamericana de agricultura de conservación. Revista Agricultura de conservación, no. 7, septiembre de 2007. 72 p.
- PAM.** Producción Agrícola Mundial. 2021. Producción mundial de sorgo 2020-2021.

- Parra, P.** 1990. El cultivo de sorgo. Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) Pp 14, 15 y 19.
- Paul, L.** 1990. El Sorgo en sistemas de producción en América Latina Copyright. 1990 INTSORIL. México, D. F. México.
- Pérez, A., Saucedo O., Iglesias J., Gómez M., Wencomo B., Reyes F., Oquendo G., y Milián, I.** 2018. Caracterización y potencialidades de grano de sorgo (*sorghum bicolor*) L. Moench). Pastos y Forrajes.
- Quintero, V., Corredor C., Martínez M., García N. y Gallegos T.** 2017. Tecnología de producción de sorgo dulce (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) en Guanajuato. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) PP 16 y 17.
- Robert, O.** 1994. Design of experiments: statistical principles of research desingn and analysis. The University of Arizona. 2 nd ed.
- Rodríguez, E.** 2000. Combate y control de malezas. Protección y Sanidad Vegetal. Maíz en Venezuela. <http://www.ci/suelo.php?pid=S0718-34292006000200008&Escrip=Sciarttext>. (28, septiembre, 2021).
- 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.
- Salinas, Y., Saavedra S., Soria J. y Espinosa E.** 2008. Características fisicoquímicas y contenido de carotenoides en maíces (*Zea mays* L.) amarillos cultivados en el estado de México. Agric. Tec. Méx. 34: Pp 357-364.
- SADER.** 2018. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. Sorgo grano: “El clan del sorgo rojo”. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/sorgo-grano-el-clan-del-sorgo-rojo>. (03, Diciembre, 2021).

- Saucedo, O.** 2008. Empleo del sorgo en la alimentación animal y humana. Taller Nacional sobre empleo del sorgo. Universidad Central de Las Villas. Villa Clara, Cuba.
- Seed Technology Laboratory.** 1960. Mississippi Agricultural State University. Experiment Station, Mississippi State University. Clasificación de tipos de anomalías de plántulas de sorgo. Far East Seed Improvement Training Course. Taichung, Taiwan.
- SIAP.** 2020. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. (30, septiembre, 2021).
- Sommer, F.** 1985. Role of controlled environments in suppression of postharvest diseases. Canadian Journal of Plant Pathology 7, 331-339.
- Traxco.** 2011. Producción Agrícola. Cultivo de sorgo. <https://www.traxco.es/blog/produccion-agricola/cultivo-de-sorgo> (23, septiembre, 2021).
- Vanderlip, R. y Reeves H.** 1972. Sorghum growth and development. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. <https://spark.adobe.com/page/B5q3d/> (21, septiembre, 2021).
- Viveros, C., Bravo N., y Muñoz E.** (1988). Incidencia de hongos fitopatógenos en la germinación de semillas de sorgo híbrido, *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Acta Agronómica, 38(3-4), 77-84.
- Warham, E., Butler, L y Sutton, R.** 1999. Ensayos para la semilla de maíz y de trigo: manual de laboratorio. CIMMYT. CAB International Wallingford. 84p.
- Zillinsky, J.** 1984. Guía para la identificación de enfermedades en cereales de grano pequeño. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). México, D. F. 141 p.