

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



PRODUCCIÓN DE GRANOS Y SEMILLAS DE LÍNEAS EXPERIMENTALES
DE SORGO CON POTENCIAL PARA CONSUMO HUMANO

Tesis

Que presenta ISAÍ LÓPEZ CALDERÓN
como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS

Saltillo, Coahuila

Febrero 2020

PRODUCCIÓN DE GRANOS Y SEMILLAS DE LÍNEAS EXPERIMENTALES
DE SORGO CON POTENCIAL PARA CONSUMO HUMANO

Tesis

Elaborada por ISAÍ LÓPEZ CALDERÓN como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Tecnología de Granos y Semillas con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo
Asesor Principal




Dr. Antonio Flores Naveda
Asesor



Dra. Norma Angélica Ruíz Torres
Asesor



Dr. Neymar Camposeco Montejó
Asesor



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Subdirector de Postgrado
UAAAN

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** porque estoy seguro que sin el nada de esto hubiera sido posible, gracias por acompañarme todos los días de mi vida, por darme la sabiduría necesaria para salir adelante y por permitirme llegar a este momento tan importante para mi formación profesional.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por todos los servicios que me brindo en mi estancia como estudiante de esta bella institución y por darme la oportunidad de formarme profesionalmente tanto en nivel licenciatura como en nivel posgrado.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por el apoyo económico que me otorgó durante mis estudios de maestría.

Al **DR. Mario E. Vázquez Badillo** por su colaboración, sus aportaciones y sugerencias para que esta investigación se llevara a cabo.

Al **DR. Antonio Flores Naveda** por todo su apoyo brindado en la elaboración de este trabajo, sobre todo por contribuir con el material genético con que se trabajó en esta investigación y por las horas de asesoría, que sin duda alguna contribuyeron en gran manera a la culminación de este proyecto.

A la **Ph. D. Norma Angélica Ruiz Torres** por aceptar ser parte de mi comité de asesoría y por toda la dedicación, sugerencias y aportaciones en la elaboración de este trabajo.

Al **Dr. Neymar Camposeco Montejo** por sus sugerencias y aportaciones en la elaboración de este trabajo de investigación.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

Urbano Emilio López y Consuelo Calderón por todos sus consejos y por toda la confianza depositada en mí. Sin lugar a dudas, hoy tengo el honor de dedicarles este logro más en mi vida profesional, sin el apoyo de ustedes esto no hubiera sido posible. Por eso, hoy le doy gracias a Dios por darme a los mejores papas del mundo.

A MIS HERMANOS

Claralidia, Carlos, Sonia, Elí, David y Moisés, esto va con dedicatoria a ustedes, y claro, a **Florentino** también, aquel hermano que hoy por azares del destino ya no está con nosotros. Dios me los bendiga a todos.

A MIS SOBRINOS

Rafa, Caro, Nico, Fer, Camila, Sami, Diana, Julián y Cristian, Les dedico este logro por todo el cariño que me han compartido que sin duda alguna fueron motivación para seguir adelante.

Quiero dedicar también este logro a todas aquellas personas que me apoyaron y motivaron a seguir adelante, entre las que se encuentran gran parte de mi familia y amigos.

ÍNDICE GENERAL

	Página
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
HIPÓTESIS	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Importancia del cultivo	4
Producción mundial.....	4
Producción nacional	5
Descripción del cultivo	6
Clasificación taxonómica	6
Descripción botánica	6
Etapas fenológicas	8
Principales plagas y enfermedades.....	9
Producción de semilla.....	13
Mantenimiento genético de líneas puras	14
Normatividad para la producción de semilla	14
Aceptación de variedades	14
Categorías y equivalencias de semillas	15
Criterios y especificaciones de campo	15
Criterios y especificaciones de laboratorio	17
Sorgo para consumo humano	18
Calidad nutricional del grano de sorgo	19
Beneficios del grano de sorgo en la dieta alimenticia.....	20

Producción de harina de sorgo.....	21
Harina de sorgo como alternativa para personas celiacas.....	22
Productos elaborados a base de harina de sorgo.....	24
MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
I. Etapa de campo.....	25
Material genético.....	25
Localización del área experimental.....	25
Manejo agronómico.....	26
Variables agronómicas evaluadas.....	27
Análisis estadístico.....	27
II. Etapa de laboratorio.....	28
Preparación del grano de sorgo para molienda.....	28
Producción de harina.....	29
Análisis proximal.....	29
Criterios para la evaluación de parámetros en el análisis proximal.....	30
Correlación estadística entre las variables de campo y proteína.....	31
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
Etapa de campo.....	32
Análisis proximal.....	35
Parámetros proximales evaluados en porcentajes.....	35
Análisis proximal en metales pesados.....	40
Análisis proximal de aflatoxinas y materia extraña.....	42
Correlaciones entre variables agronómicas y contenido de proteína.....	44
CONCLUSIONES.....	45
LITERATURA CITADA.....	46

ÍNDICE DE CUADROS

	Pagina
Cuadro 1. Equivalencias de categorías de semilla calificada, de acuerdo a los esquemas de certificación de México, OCDE y la AOSCA.....	15
Cuadro 2. Distancia mínima de aislamiento del lote de producción de semilla respecto a especies en variedades para grano, forrajeras y escobera.....	16
Cuadro 3. Tolerancias en las categorías de semillas.....	17
Cuadro 4. Estándares para las categorías en la producción de variedades.	18
Cuadro 5. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables agronómicas evaluadas en nueve líneas experimentales y un testigo comercial de sorgo, en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila, ciclo Primavera-Verano 2018.....	33
Cuadro 6. Comparación de medias para las variables agronómicas evaluadas en nueve líneas experimentales y un testigo comercial de sorgo, en el ciclo Primavera-Verano, 2018 en Buenavista, Saltillo, Coahuila.....	35
Cuadro 7. Metales pesados estimados en análisis proximal en harinas de nueve líneas experimentales de sorgo (mg/kg).	42
Cuadro 8. Resultados de análisis proximal en nueve líneas experimentales de sorgo para los niveles de aflatoxinas y materia extraña en harina.	43
Cuadro 9. Correlación entre variables agronómicas y contenido de proteína en nueve líneas de sorgo.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pagina
Figura 1. Etapas fenológicas según escala de Vanderlip y Reeves (1972).	9
Figura 2. Porcentaje de grasa en nueve líneas de sorgo.....	36
Figura 3. Contenido porcentual de cenizas en nueve líneas de sorgo.....	37
Figura 4. Niveles porcentuales de proteína en nueve líneas de sorgo.	38
Figura 5. Contenido de humedad en harinas de nueve líneas de sorgo.	38
Figura 6. Aportación porcentual de fibra cruda en nueve líneas de sorgo.	39
Figura 7. Comportamiento porcentual de ELN en nueve líneas de sorgo.....	39

RESUMEN

PRODUCCIÓN DE GRANOS Y SEMILLAS DE LÍNEAS EXPERIMENTALES
DE SORGO CON POTENCIAL PARA CONSUMO HUMANO

POR

ISAÍ LÓPEZ CALDERÓN
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DR. MARIO ERNESTO VÁZQUEZ BADILLO - ASESOR –

Saltillo, Coahuila.

Febrero 2020

El presente trabajo de investigación se realizó con el objetivo de evaluar en campo nueve líneas experimentales de sorgo (LES 184, LES 197, LES 185, LES 280, LES 188, LES 284, LES 291, LES 5, LES 278), con potencial para consumo humano y un híbrido comercial como testigo, a través de la determinación de variables agronómicas, y posteriormente el procesamiento del grano en harina, para llevar a cabo un análisis proximal con el propósito de determinar el contenido nutricional. El trabajo de campo se condujo en el Campo Experimental Buenavista, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, donde se llevó a cabo la evaluación de las líneas experimentales y el testigo comercial de sorgo, las variables que se midieron fueron: días a floración (DF), altura de planta (AP), longitud de panícula (LP), rendimiento de grano en gramos por planta (RGP), y peso de mil semillas (PMS). El experimento en campo se estableció en un diseño experimental de bloques completos al azar, en surcos de 4 metros x 0.8 metros de ancho con 3 repeticiones, con un total de 30 unidades experimentales. Los datos se procesaron con el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS), versión 9.1, realizando análisis de varianza y la prueba de comparación de medias (Tukey $P \leq 0.05$). La segunda etapa se realizó en un laboratorio certificado por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) y por la Secretaría de Salud, donde se evaluaron los parámetros contenidos de grasa, ceniza, proteína, humedad, fibra cruda, extracto libre de nitrógeno, cadmio, arsénico, plomo y zinc total, aflatoxinas y materia extraña. De acuerdo al análisis de varianza de los datos obtenidos en campo, se encontraron diferencias altamente significativas entre líneas y el testigo comercial para todas las variables evaluadas. En la comparación de medias se halló que el testigo comercial y la línea 278, presentaron mayores días a floración con 87 y 85, respectivamente; mientras que las líneas 291 y 5 fueron las más precoces, con 70 y 72 días. Para la variable AP, las líneas 284 con 132.1 cm, 197 con 131.20 cm, 278 con 130.33 cm, 188 con 124.76 cm y 280 con 120 cm, presentaron mejor altura de planta que el testigo comercial, el cual obtuvo una media de 118 cm. Para la variable longitud de panícula, únicamente el testigo comercial fue superior y estadísticamente diferente en comparación con las demás líneas

experimentales, y con valores muy cercanos a la media general. El rendimiento de grano en gramos por planta, para el testigo comercial, no mostró resultados favorables, debido a la incidencia de daño por aves en campo, provocando pérdida total del grano, y en consecuencia, todas las líneas experimentales mostraron mejor comportamiento que este, siendo las líneas 284 y 197 las de mayor rendimiento con 94.63 y 93 gramos, respectivamente. Para la variable peso de mil semillas, la línea 278, obtuvo los mejores resultados con 35.1 gramos. Por otra parte, en el análisis proximal en laboratorio, las harinas de las nueve líneas experimentales de sorgo cumplieron con los requerimientos máximos y mínimos establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas, en la evaluación de los parámetros, sobre todo en porcentajes de proteínas, ya que ocho de ellas fue mayor a 9%. En las líneas experimentales de sorgo, se observó también una correlación positiva en las variables días a floración con altura de planta y con rendimiento de grano en gramos por planta; por otra parte, estas variables agronómicas correlacionaron negativamente con el parámetro contenido de proteína evaluado en laboratorio. Por otra parte, las líneas con mayor días a floración, mayor rendimiento en gramos por planta y mayor altura de planta, fueron las que obtuvieron menor contenido de proteína, y por el contrario, las de menor rendimiento de grano en gramos por planta, presentaron menor altura de planta y menos días a floración, y a su vez obtuvieron los porcentajes más altos para contenido de proteína.

ABSTRACT

PRODUCTION OF GRAINS AND SEEDS OF EXPERIMENTAL SORGHUM
LINES WITH POTENTIAL FOR HUMAN CONSUMPTION

BY

ISAÍ LÓPEZ CALDERÓN

MASTER IN TECHNOLOGY OF GRAINS AND SEEDS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. MARIO ERNESTO VÁZQUEZ BADILLO - Advisor –

Saltillo Coahuila

February 2020

The present research work was carried out with the objective to evaluate under field conditions, nine experimental lines of sorghum (LES 184, LES 197, LES 185, LES 280, LES 188, LES 284, LES 291, LES 5, LES 278), with potential for human consumption, and a commercial check. Agronomic variables were measured and subsequently the grain was processed in flour, to carry out for a proximal analysis with the objective to determinate their nutritional content. The field work was realized at the Buenavista Experimental Field of the Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro, where the evaluation of the experimental lines and the commercial check was performed. The evaluated variables were: days to flowering (DF), plant height (AP), panicle length (LP), grain yield in grams per plant (RGP), and one thousand seeds weight (PMS). The experiment in the field was established in a randomized complete blocks design, each row was 4 meters x 0.8 meters wide with 3 replications, with a total of 30 experimental units. The data was analyzed with the Statistical Analysis System (SAS) statistical program, version 9.1 and a means comparison test was carried out using the Tukey test ($P \leq 0.05$). The second part of this research (proximate composition analysis), was carried out in a laboratory certified by the Federal Commission for the Protection Against Sanitary Risks (COFEPRIS) and by the Secretary of Health, including the determination of fat (%), ash, protein, moisture, crude fiber, nitrogen free extract, cadmium, arsenic, lead and total zinc, aflatoxins and foreign matter. According to the analysis of variance carried out with the nine experimental lines and commercial check under field conditions, highly significant differences were found among lines and the commercial check for all the variables evaluated. In the means comparison, it was found that the commercial hybrid (check) and the line 278, presented greater number of days to flowering with 87 and 85 days respectively, while lines 291 and 5 were the earliest with 70 and 72 days. For the AP variable, lines 284 with 132.1 cm, 197 with 131.20 cm, 278 with 130.33 cm, 188 with 124.76 cm, and 280 with 120 cm, had higher plants than the commercial check which obtained an average of 118 cm. For the panicle length variable, only the commercial check was statistically different, compared to the experimental lines that resulted statistically equal, and with means values similar to the general

average. The grain yield in grams per plant, for the commercial check, did not show favorable results, due to the incidence of field birds damage, which caused a total loss of the grain, and consequently, all the experimental lines performed better than the lines 284 and 197, with 94.63 and 93 grams respectively. For the variable one thousand seeds weight, the line 278 obtained the best results with 35.1 grams. On the other hand, in the proximate composition analysis, the flours of the nine experimental lines, fulfilled with the maximum and the minimum requirements established in the Official Mexican Standards, especially the protein percentage, since eight lines had more than 9%. In the experimental lines, a positive correlation was also observed in the field variables, days to flowering with plant height and grain yield in grams per plant, however these agronomic variables also correlated negatively with protein content a parameter evaluated in the laboratory. On the other hand, the lines with more days to flowering, obtained higher yield in grams per plant and higher plant height, but lowest protein content. And those with the lowest grain yield in grams per plant, had lower plant height and less days to flowering, and they obtained the highest percentages for protein content.

INTRODUCCIÓN

El sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench) es un cultivo importante para la alimentación humana y animal. Una característica importante del sorgo es su gran variedad de mecanismos para tolerar altas temperaturas y sequía, estos mecanismos se deben en gran parte a la región donde se originó el cultivo, el cual se remonta al continente africano, particularmente en Etiopia, Sudán y la región este de África.

El sorgo es uno de los cultivos básicos que más se producen en el mundo debido a la superficie de producción que ocupa, solo después del trigo, maíz, arroz y cebada. En muchos países se cultiva para producción de grano que se emplea para consumo del ganado. En África, Asia y parte de América Latina, se ha utilizado para la elaboración de harina o mezcla de harinas para la fabricación de galletas, panes, bebidas, entre otros productos para consumo humano. Asimismo, se emplea también en la industria de la extracción para la obtención de almidón, alcohol y glucosa; además se usa en la fermentación aceto-butílica, donde se producen tres solventes importantes: alcohol, acetona y butanol.

Las condiciones actuales del cambio climático, el incremento de la temperatura y eventos catastróficos con mayor frecuencia limitan la producción agrícola. Por lo tanto, el cultivo de sorgo prospera en donde resulta difícil cultivar otros cereales de grano. Además, el grano de sorgo se utiliza como alimento básico para la población más pobre del mundo, en donde se padece una situación de inseguridad alimentaria. Diversos países se han enfocado en estudiar este cultivo como una nueva alternativa con el objetivo de garantizar en un futuro el abasto de alimentos de una población en constante crecimiento.

Actualmente, en México se está promoviendo el consumo de alimentos elaborados a base de harina de sorgo, por las cualidades que aporta este cereal en beneficio de nuestra salud. Cabe destacar que el sorgo es un excelente sustituto de la harina de trigo para las personas que no pueden consumir alimentos de cereales que contienen gluten, el cual es una proteína que se encuentra principalmente en el trigo, cebada y centeno. Una dieta libre de gluten

es el único tratamiento eficaz para los pacientes con la enfermedad celíaca (EC). La EC es una intolerancia permanente al gluten que produce una lesión severa de la mucosa del intestino delgado, causando malestar estomacal y mala absorción de los nutrientes. Además, en nuestro país se plantea la producción de sorgo grano por su bajo costo de producción, por lo que sería también una alternativa viable para la población de escasos recursos.

Por lo anterior, en el Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro a través del Programa de Mejoramiento Genético de Sorgo del Departamento de Fitomejoramiento, se ha establecido el estudio y evaluación de líneas experimentales de sorgo para la producción de semilla en base a comportamiento agronómico y evaluación de contenido nutricional del grano, que cumplan con las características deseables para la producción de harina de calidad, para su utilización en el consumo humano.

Los objetivos y la hipótesis planteada en el presente trabajo de investigación son los siguientes:

OBJETIVO GENERAL

Producir granos y semillas de germoplasma de sorgo con potencial para consumo humano.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Incremento y mantenimiento de líneas experimentales de sorgo.

Análisis proximal en muestras de harina de sorgo.

HIPÓTESIS

En las líneas experimentales de sorgo es posible que existan genotipos con características agronómicas y calidad nutricional del grano con potencial para consumo humano.

En las líneas experimentales de sorgo no es posible que existan genotipos con características agronómicas y calidad nutricional en el grano para consumo humano.

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia del cultivo

El sorgo es el quinto cereal más importante del mundo después del trigo, maíz, arroz y cebada (FAO, 2019). A nivel mundial, es utilizado en la dieta alimenticia de 500 millones de personas en más de 30 países (ICRISAT, 2009). En Asia y África es utilizado como cultivo alimenticio (Dykes *et al.*, 2005). Actualmente, en el Salvador se emplea harina de sorgo para la industria de la panificación (CENTA, 2012). El sorgo es un alimento básico importante especialmente en áreas áridas o semiáridas, donde otros cultivos como el maíz son más susceptibles para un óptimo crecimiento y desarrollo (Flores *et al.*, 2016).

El sorgo se originó entre 4500 y 1000 años a.c en partes de África Central, posteriormente extendiéndose a Asia e India. Aunque la mayoría se cultiva en estas áreas (55%), en Estados Unidos de Norteamérica se produce el 25-30% de la producción mundial. Entre el 15 y 20% se cultiva en América Latina. La raza bicolor, principalmente es de color de grano blanco, rojo, negro, amarillo, marrón y diversos tipos de color, dependiendo de la genética y las condiciones ambientales. Además, las glumas varían de marrón oscuro a púrpura oscuro (Smith, 2000).

Producción mundial

La producción a nivel internacional de sorgo es de 53.8 millones de toneladas, los principales países productores son Estados Unidos, India, Nigeria, México y China, quienes participan con el 69% de la producción. De acuerdo con el reporte perspectivas agrícolas 2016-2025 de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la producción mundial de los cereales secundarios (sorgo, cebada y avena), crecerá a una tasa promedio anual del 1.1%, hacia 2025, impulsada principalmente por la demanda de alimentos y, en segundo lugar, por la demanda de forrajes. La expansión del uso de los alimentos proviene principalmente del África, mientras que la expansión de la demanda

como forraje proviene de manera importante de China. Por lo tanto, las proyecciones, indican que el consumo mundial de sorgo crecerá a una tasa promedio anual de 1.1% y a finales del periodo la relación inventarios consumo será del 17.2% (OCDE-FAO, 2016).

Producción nacional

En lo referente a las importaciones. Hasta el mes de septiembre del 2018, México había importado 40 mil toneladas de sorgo estadounidense, 89.6 por ciento menos de lo que importó en el mismo periodo del año 2017, cuando se compraron de Estados Unidos de Norteamérica 400 mil toneladas del grano. En México, los estados de Nuevo León, Puebla y Guanajuato, son los principales consumidores nacionales del grano (SIAP, 2019).

México es uno de los países que presentan una mayor producción de sorgo a nivel mundial, siendo los estados de Tamaulipas, Jalisco, Sinaloa, Guanajuato y Michoacán los de mayor producción a nivel nacional.

En 2017 México fue el tercer productor a nivel mundial de sorgo y Tamaulipas se colocó en segundo lugar a nivel internacional como estado productor de sorgo, después del estado de Texas en Estados Unidos. Según datos históricos del servicio de información agroalimentaria y pesquera (SIAP), en 2018 la superficie sembrada de sorgo, fue de 1, 456, 329 hectáreas, riego más temporal en donde 1, 427, 801 hectáreas fueron cosechadas y el resto siniestrada, llegando a tener un total de 4, 853, 109 toneladas con un rendimiento promedio de 3.81 t/ha (SIAP, 2019).

Descripción del cultivo

Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica del sorgo, según Valladares (2010). Es la siguiente:

Reino	Plantae
Sub Reino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Sub Clase	Commelinidae
Grupo	Glumiflora
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Sub Familia	Panicoideae
Tribu	Andropogonea
Genero	<i>Sorghum</i>
Especie	<i>bicolor</i>

Descripción botánica

Descripción botánica del sorgo, según Pérez *et al.* (2010).

La mayoría de las variedades del sorgo son plantas de macollo formadas por un tallo central que brota de la semilla y de brotes que salen de la base de la planta. La altura de las plantas varía considerablemente; las de porte bajo con 0,5 m de alto y muy altos, como ciertos tipos de sorgos escoberos que alcanzan hasta 3,5 m de altura. El tallo central, como en las otras gramíneas se forman por nudos y entrenudos; estos son más cortos en la parte inferior y más largo hacia el centro; el último, el que lleva la inflorescencia es el más largo, de cada nudo sale una hoja, en posición alterna, así formando dos filas verticales, en el sorgo enano las vainas de las hojas cubren por completo el entrenudo, y a veces se sobreponen,

mientras que en la mayoría de los cultivos altos el entrenudo no está cubierto del todo.

El sorgo tiene un buen desarrollo de su sistema radical, lo que precisamente hace de este cultivo resistente al estrés hídrico. En un determinado volumen de suelo, produce más de dos veces su raíz que el cultivo del maíz. Raíces adventicias salen de la región basal de los nudos inferiores, en uno o más grupos. Son finas, fuertes y se ramifican profusamente, son blancas y amarillas al principio se vuelven rojas o paradas con la madurez. La endodermis de las raíces contiene considerables cantidades de sílice lo que evita que las raíces colapsen con la sequía, como ocurre con el maíz. Este carácter es una adaptación a las tierras áridas en las que se originó la especie. En los tallos y entrenudos son cilíndricos en la mayoría de los casos, algunas veces pueden ser cónicos. En la base del entrenudo hay una banda en la que se hallan los primordios de las raíces y una yema, arriba de esta hay un surco o depresión longitudinal.

Las hojas en los sorgos de grano son en número de 5-25, en los sorgos forrajeros es más abundante. La hoja se compone de la vaina que envuelven al tallo, el cuello en la que se encuentra una lígula membranosa y la lámina que es lineal lanceolada, de 0.5 - 1 m de largo y de 5 – 5.15 cm de ancho, el nervio central es muy prominente y su color es característico de cada variedad, desde blanco a blanco con bordes claros, puede ser también verde claro.

La inflorescencia del sorgo es una panícula envuelta al inicio por la hoja terminal u hoja bandera. Por lo general, el raquis crece erecto y sale por el cuello de esta hoja. La panícula puede ser compacta o suelta, según la distancia entre ramillas, la posición y longitud de estas y la densidad de flores por rama.

Las espiguillas están colocadas sobre ramitas, que salen de las ramas primarias o secundarias de la panícula. Las espiguillas sésiles llevan flores perfectas y producen grano; las pedicelas solo tienen estambres.

El fruto es tipo cariósipide que es más ancha hacia el ápice en la mayoría los cultivares. La longitud varía mucho, siendo la anchura promedio de 4 - 6 mm. La cobertura de la semilla por las glumas puede ser completo o parcial de acuerdo

al cultivar. La mayor parte de la semilla la forma el endospermo blanco; el embrión es pequeño y ocupa una posición basal.

Etapas fenológicas

Etapas de crecimiento y desarrollo según Vanderlip y Reeves (1972).

Etapa 0 - Emergencia. Cuando el coleóptilo es visible en la superficie del suelo. Esto suele pasar después de 3 a 10 días posteriores a la siembra. La siembra debe realizarse con una temperatura del suelo de por lo menos 15°C a 5 cm de profundidad, e idealmente de 18-20°C, para asegurar la germinación ya que el sorgo es una planta de origen tropical.

Etapa 1 - Estado de tres hojas. Se produce cuando las lígulas de tres hojas se pueden ver sin tener que causar daño a la planta, aproximadamente 10 días después de la siembra. En esta etapa, aunque la parte aérea sea eliminada por, por ejemplo, una helada, la planta se recupera bien ya que el punto de crecimiento se encuentra debajo de la superficie del suelo, y no se ve afectado.

Etapa 2 - Lígula de la quinta hoja visible. Lígula de la 5a hoja visible. Las lígulas de cinco hojas pueden verse sin la disección de la planta. Esta etapa ocurre 3 semanas después aproximadamente.

Etapa 3. Diferenciación del punto de crecimiento. Ocurre aproximadamente 30 días después de la emergencia y representa el cambio en el punto de crecimiento, de vegetativo a etapa reproductiva. De 7 a diez hojas se encuentran totalmente expandidas.

Etapa 4 - Hoja bandera visible en espiral. Todas excepto en Las 3 o 4 hojas finales se han expandido completamente. Los 2 inferiores a 5 hojas probablemente se han perdido.

Etapa 5 - Arranque buche. Todas las hojas están completamente expandidas proporcionando el área máxima de hojas. La panícula es casi de longitud completa y está encerrado en la vaina de la hoja bandera.

Etapa 6 - Floración. Las plantas se encuentran en alguna etapa de floración que comienza de arriba hacia debajo de la panícula.

Etapa 7 - Grano lechoso. Aproximadamente se ha acumulado la mitad de la materia seca del grano. solo quedan de 8 a 12 hojas funcionales.

Etapa 8 - Grano duro: Aproximadamente tres cuartos de la materia seca del grano se han acumulado. Probablemente se haya producido una pérdida adicional de la hoja.

Etapa 9 - Madurez fisiológica. El peso seco máximo de la planta total ha sido alcanzado. La humedad del grano a la que esto ocurre varía según la temporada y el material genético.

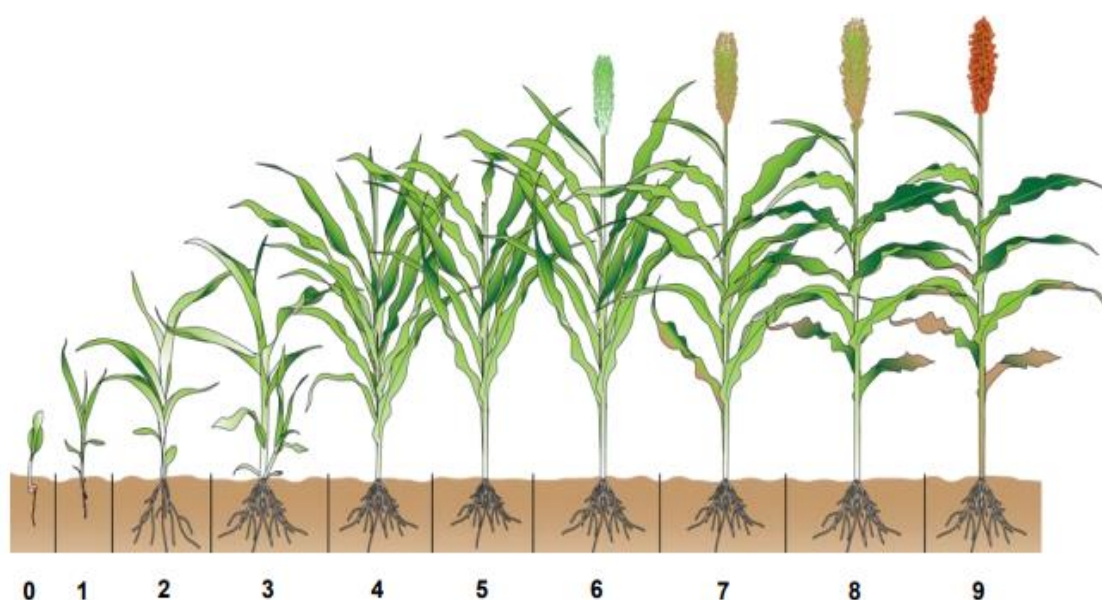


Figura 1. Etapas fenológicas según escala de Vanderlip y Reeves (1972).

Principales plagas y enfermedades

Plagas

El cultivo del sorgo es atacado por una o más plagas principales dependiendo de cada ambiente en el que se cultive, estas plagas suelen ser persistentes y graves, y en base al tipo de gravedad de los daños ocasionados por dicha plaga, se determinaran las prácticas para su adecuado control. Si no se toman las medidas pertinentes al respecto, la población de las plagas excede el daño al que el cultivo

puede soportar a tal grado de ocasionar pérdidas económicas en su totalidad, lo que ocasionaría una nula rentabilidad. Para Saucedo (2008), el cultivo de sorgo es atacado durante su etapa de crecimiento y desarrollo por insectos y por otras plagas secundarias y ocasionales.

Por la gravedad de los daños que causan, entre las principales plagas, se encuentran; el gusano cogollero, la mosquita del sorgo, los pulgones y el barrenador del tallo (Iannone, 2003).

A continuación, se describen las principales plagas del sorgo:

1. **Gusano cogollero** (*Spodoptera frugiperda*)

Es una de las plagas de mayor importancia económica del cultivo de sorgo, pues ha aumentado su incidencia considerablemente en los últimos cinco años convirtiéndose en un problema para los productores tanto de riego como de temporal. Su ciclo de vida es de aproximadamente 30 días durante el verano, 60 días en primavera y otoño y de 80 a 90 días en invierno debido a las condiciones de temperatura. Así pues, su ciclo consta de cuatro estadios: huevecillo, larva, pupa y adulto, siendo la larva la que ocasiona el daño al cultivo.

2. **Mosquita del sorgo** (*Contarinia sorghicola*)

Los adultos son pequeños, de color anaranjado. La larva se alimenta durante 1 a 2 semanas del grano e impide su formación, por lo que las espiguillas atacadas están vacías, lo que a veces se atribuyen erróneamente a problemas de fertilidad, fertilización del ovario, condiciones climáticas desfavorables, o al ataque de otras plagas. El ciclo de vida de la mosquita es de aproximadamente 19 días en promedio, y cada mosquita coloca entre 50 y 100 huevos. Las primeras mosquitas surgen de larvas que se encuentran en diapausa desde hasta 3 ciclos atrás.

3. **Barrenador del tallo** (*Diatraea saccharalis*)

Las larvas perforan los tallos introduciéndose en su interior, posteriormente forman galerías que debilitan las plantas; éstas se quiebran en su parte superior provocando la caída de la panoja antes o durante la cosecha.

4. **Trips** (*Frankliniella spp.*)

El ciclo biológico de estos insectos presenta seis estados de desarrollo, entre los más notorios son los siguientes:

- Huevo: encastrados en las hojas.
- Larva: dos estadios larvales, se alimentan y causan daños.
- Pre-pupa y pupa: no se alimentan, transcurren en el rastrojo o en el suelo.
- Adulto: pequeños (1 mm), de colores variables, alas estrechas con flecos en los bordes.

Los trips se alimentan a través de una mandíbula y dos maxilas que forman un estilete: con la primera efectúan un agujero en la epidermis, donde introducen las maxilas y succionan savia.

5. **Pulgón amarillo del sorgo** (*Melanaphis sacchari*)

El pulgón amarillo se ha convertido en la principal plaga en el cultivo del sorgo en varios estados del país. La plaga ha presentado una rápida dispersión y se ha detectado su presencia en sonora, Sinaloa, Durango, Nayarit, Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Coahuila, Tamaulipas, Nuevo león, San Luis Potosí, Colima y Veracruz.

Los daños se derivan de la succión de la savia en las hojas, las que se tornan rojizas por las lesiones. Además, se tienen otros daños indirectos como la presencia de fumagina, un hongo asociado a la mielecilla que excretan los pulgones, lo que reduce la fotosíntesis. También se presentan las enfermedades de tipo viral favorecidas por el ataque del pulgón. Se ha estimado que por cada hoja dañada y que desarrolla fumagina se pierde alrededor de un 10 por ciento del rendimiento

Enfermedades

Entre los principales factores bióticos que limitan la producción de sorgo se encuentran las enfermedades. Las más importantes en el cultivo de sorgo son las siguientes:

1. Ergot (*Claviceps africana*)

Es la principal enfermedad que ataca al cultivo de sorgo afectando a la panoja, por lo cual los tipos de sorgo perjudicados son los graníferos y doble propósito. Esta enfermedad producida por la forma asexual del hongo *Sphacelia sorghi* hizo su aparición en forma epidémica en nuestro país entre los años 1995-1996. Su forma sexual es *Claviceps africana* (productora de esclerocios). Su sintomatología se presenta cuando las flores se abren y los estigmas se hacen receptivos, pudiendo ser polinizados y fecundados sus ovarios en pocas horas o infectados por las conidias o esporas del hongo que dura de dos a tres días para colonizar todo el ovario. El hongo, ataca solamente los ovarios de flores que no han sido polinizados y fertilizados. El primer síntoma visible, son las glumas separadas por las hifas y la exudación azucarada cargadas de conidias.

2. Estría Bacteriana (*Pseudomonas andropogonis*)

Se caracteriza por lesiones en forma lineal de color púrpura a rojo. Las lesiones iniciales son de aproximadamente un cm de largo. Bajo condiciones favorables estas lesiones crecen, pudiendo superar los 20 cm y llegan a unirse. Normalmente, se observan exudados sobre las porciones de hoja infectadas. Requiere temperaturas elevadas y alta humedad relativa. Se disemina por el viento y las lluvias. Para el manejo se recomienda principalmente la rotación de cultivos y sembrar materiales de mejor comportamiento.

3. Mildiu vellosa (*Peronosclerospora sorghi*)

Esta enfermedad es causada por un hongo el cual necesita para su adecuado desarrollo presencia de alta humedad y temperaturas que oscilan entre los 11 y 32° C. Es transmisible por semillas y las esporas pueden permanecer durante

largos periodos de tiempo en el suelo, germinando y atacando las raíces de las plantas que llegan a ser infectadas de manera sistémica. La característica de la enfermedad es la clorosis extensa en forma de vetas que se alargan de manera paralela a las venas y dan un aspecto rayado de color blanquizco. Se considera que la enfermedad es mucho peor cuando se transmite por medio de la semilla, ya que toda la planta muestra síntomas. En una infección grave, las anteras son estériles y cuando se llega a producir grano, este presenta malformaciones.

Producción de semilla

Debido al rápido crecimiento de la población, se desarrolló en los años 50's y 60's programas de mejoramiento genético de los cultivos que producían alimentos, entre ellos el cultivo de sorgo (Smith *et al.*, 1984). A fines del siglo XIX y principios del XX se seleccionaron variedades de sorgo, considerando sus características de precocidad, insensibilidad al fotoperiodo, porte bajo y resistencia a enfermedades (Hawkins, 1984). En 1956, tras el descubrimiento de la androesterilidad genética citoplasmática se facilitó el desarrollo de los híbridos (Quinby y Schertz, 1975). La mayoría de los cultivos en América Latina son híbridos que tienen parentesco con los de E.U.A. (Hawkins, 1984). El sorgo para grano incremento notablemente su producción después de la aparición de variedades mejoradas (Martin, 1975).

El mejoramiento genético comprende el desarrollo y diseño de nuevas variedades, por lo tanto; el diseño de una nueva variedad consiste en la incorporación de genes que determinan las características agronómicas deseables, las cuales permitirán tener un genotipo en donde el crecimiento y desarrollo se ajustará a la variación de las condiciones propias de un ambiente de producción en particular, identificándose como una nueva variedad apta para la producción en la región para la cual se diseñó.

Mantenimiento genético de líneas puras

El mejoramiento genético se logra mediante la selección de las líneas que se consideren más productivas y por autofecundación de plantas a través de diversos ciclos y ambientes de evaluación para desarrollar una variedad tipo línea pura. Sin embargo, existe una tendencia de cruzamiento natural, por lo que el mantenimiento de las líneas puras debe hacerse por autofecundación para mantener su pureza genética. Aunque el cultivo es principalmente autógeno, la protoginia puede causar una tasa de por lo menos el 5% de polinización cruzada natural, por tanto, la integridad genética de las accesiones de sorgo se mantiene por autofecundación. Cuando se regeneran gran cantidad de accesiones simultáneamente y no es posible aislarlas, es necesario cubrir las panículas de sorgo con bolsas de papel, previo a la antesis para mantener la pureza de las líneas.

Normatividad para la producción de semilla

Para la producción de semilla calificada de sorgo, se utilizan como referencia el documento Regla para la Calificación de Semilla de Sorgo, emitido por el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), en donde se establecen los criterios y especificaciones de campo, así como de laboratorio para la producción de semilla de sorgo en cualquiera de sus categorías; original, básica, registrada, habilitada o en su caso, declarada. Dicha regla es aplicable para la calificación de semilla de sorgo, tanto de variedades de polinización libre como para la producción de semilla híbrida.

Dentro de los puntos esenciales para el cumplimiento de la regla para la calificación de semillas se mencionan los siguientes:

Aceptación de variedades

Las variedades vegetales de sorgo, de las que se requiera realizar la calificación de semillas, deben estar inscritas en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales del SNICS.

Los responsables de la producción de semilla certificada, deben comprobar el origen de la misma, para lo cual, deben entregar ante el SNICS o el Organismo de Certificación autorizado, las etiquetas de certificación correspondiente a las categorías Básica y Registrada según corresponda, o en su caso la Carta de Identidad Varietal cuando se inicie la multiplicación a partir de semilla Original. En el caso de semilla importada para fines de calificación, deben presentarse al SNICS o al organismo certificador autorizado las etiquetas de certificación emitidas por agencias oficiales del país de origen o Carta de Identidad Varietal, u otra evidencia que permita comprobar el origen de la semilla y garantizar su pureza genética, así como copia del certificado fitosanitario.

Categorías y equivalencias de semillas

Para la producción de semilla calificada, se consideran las categorías Básica, Registrada, Certificada y Habilitada. En el Cuadro 1, se establecen las categorías de acuerdo a esquemas de certificación y equivalencia internacionales.

Cuadro 1. Equivalencias de categorías de semilla calificada, de acuerdo a los esquemas de certificación de México, OCDE y la AOSCA.

México	OCDE	AOSCA
Básica	Pre-basic seed	Foundation
Registrada	Basic seed	Registered
Certificada	Certified seed	Certified

Criterios y especificaciones de campo

- **Unidad de inscripción**

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

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

- **Aislamiento**

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

Cuadro 2. Distancia mínima de aislamiento del lote de producción de semilla respecto a especies en variedades para grano, forrajeras y escobera.

Propósito	Cultivos	Distancia mínima en metros por categoría de semilla			
		Básica	Registrada	Certificada	Habilitada
Grano	S. grano	500	500	300	300
	S. forrajero	500	500	300	300
	S. escobero	5000	5000	5000	5000
	Z. Johnson	600	600	500	500
	Z. Sudán	1000	1000	1000	
Forrajero	S. grano	500	500	300	300
	S. forrajero	500	500	300	300
	S. escobero	5000	5000	5000	5000
	Z. Johnson	600	600	500	500
	Z. Sudán	1000	1000	1000	1000
Escobero	S. grano	400	400	300	300
	S. forrajero	500	500	300	300
	S. escobero	5000	5000	5000	5000
	Z. Johnson	400	400	300	300
	Z. Sudán	600	600	400	400

- **Número de inspecciones**

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

- a) Floración, preferentemente en el inicio para comprobar el aislamiento. Se deben eliminar previo a la floración todas las plantas fuera de tipo que puedan dar origen a una contaminación.
- b) Antes de la cosecha, pero después de que la semilla empiece a adquirir el color característico de la madurez, es necesario, determinar la incidencia de las enfermedades de la semilla y verificar las características varietales.

- **Tolerancias de campo**

Cuadro 3. Tolerancias en las categorías de semillas.

Factor	Categoría de semillas			
	Básica	Registrada	Certificada	Habilitada
Plantas de tipo dudoso (máximo)	0	1 en 10,000	1 en 1,000	2 en 1,000
Plantas fuera de tipo (máximo)	0	1 en 35,000	1 en 20,000	1 en 20,000
Plantas de otros cultivos	0	0	0	0
Plantas de maleza	0	0	0	0
Panojas completas afectadas con tizón (<i>Fusarium moniliforme</i>)	0	0	1 en 10,000	1 en 10,000
Panojas con algunos granos con tizón (<i>Fusarium moniliforme</i>)	0	2 panojas por ha	4 panojas por ha	6 panojas por ha

Criterios y especificaciones de laboratorio

Los estándares a verificar en el análisis de laboratorio para otorgar el certificado de semilla calificada, varían de acuerdo a las categorías de semillas. En el Cuadro 4, se establecen los porcentajes mínimos que se deben cumplir en cuanto

al porcentaje de semilla pura y semillas no pertenecientes a la variedad, así como los que corresponden a germinación y humedad.

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

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

En el caso de la categoría de semilla Declarada, es obligatorio anexar a la etiqueta el contenido de semillas del envase y deberá indicar la fecha del último análisis de germinación. Los estándares de calidad correspondientes a esta categoría, deben ser equivalentes a los establecidos en cuanto a la categoría certificada. Asimismo, se debe de considerar que no es posible comprobar la calidad genética con ningún tipo de certificado.

Sorgo para consumo humano

En la actualidad a nivel mundial, el reto es aumentar el rendimiento de los cultivos, por lo que es necesario tomar acciones encaminadas al mejoramiento genético de cereales, para garantizar el abasto de alimento para las generaciones futuras. Actualmente, existen instituciones que realizan investigación para el desarrollo de nuevos genotipos que sean capaces de afrontar los nuevos retos de manera segura y sostenible que permita llevar a cabo

la autosuficiencia alimentaria mundial en un futuro próximo, entre esos cultivos se encuentra el sorgo.

El sorgo es uno de los cereales que por su buen comportamiento agronómico y sus características nutricionales puede aportar innumerables beneficios en la alimentación humana. En algunas regiones del mundo el sorgo está sustituyendo al cultivo de maíz por su resistencia a algunas enfermedades y poca demanda de agua. En los últimos años ha cobrado importancia la producción de sorgos para consumo humano en diferentes países del mundo, además de los países de África y Asia donde ya se ha venido consumiendo como parte de la dieta alimenticia de la población.

En América Latina diferentes países han hecho investigación para incluir al sorgo en la elaboración de harinas para el consumo. En Bolivia, Argentina y El Salvador se ha llevado a cabo la elaboración de panes a partir de harinas de sorgo, en el cual se han utilizado harinas de otros cultivos como complementos como el trigo o 100% harinas de sorgo. En Cuba se estudiaron diferentes genotipos de sorgo para el tratamiento de niños celíacos.

En México se está promoviendo el consumo de alimentos elaborados a base de harina de sorgo, por las cualidades que aporta este cereal en beneficio de nuestra salud (Flores *et al.*, 2016). El sorgo es un excelente sustituto de la harina de trigo para las personas que no pueden consumir alimentos de cereales que contienen gluten. El gluten es una proteína que se encuentra principalmente en el trigo, cebada y centeno y que es causante de la enfermedad celíaca. Así también, se plantea como alternativa de producción para la población de escasos recursos económicos en zonas marginales del país.

Calidad nutricional del grano de sorgo

El grano de sorgo contiene diversos compuestos nutritivos, de acuerdo al recetario de productos elaborados a base de sorgo de la International Sorghum and Millet (INTSORMIL, 2011), entre estos componentes se mencionan los siguientes: fibra soluble, muy importante para la alimentación de personas con diabetes por su lento proceso de liberación de glucosa, además del buen

funcionamiento del sistema digestivo que evita el cáncer de colon. Contiene también considerables cantidades de zinc y hierro, el zinc es muy importante para el pleno desarrollo de los niños en crecimiento y el hierro sirve para reducir la anemia ferropénica (anemia por falta de hierro); dichos minerales tienen una biodisponibilidad o capacidad de asimilación aproximadamente de 10% a 15% en los alimentos elaborados a base de sorgo. El contenido de proteína en el grano varía entre 10% y 12%, siendo similar al trigo, con la diferencia que este no contiene gluten.

La composición del grano de sorgo se asemeja al trigo en lo referente al contenido energético, proteico y de lisina. Comparándolo con el maíz, el sorgo tiene menor contenido energético y menor contenido de caroteno, sin embargo, en muchos casos tiene mayor contenido de proteína y lisina. Su composición química varía de acuerdo con las condiciones edafoclimáticas en que se evalúe su comportamiento (Boada *et al.*, 2005). Todos los sorgos poseen sustancias tánicas hidrolizables (ácido gálico y ácido elágico) que como parte de su composición no representa un factor negativo en su valor nutricional a excepción de algunos sorgos que poseen taninos condensados en la cubierta seminal (la testa) y que se puede ver afectado en valor alimentario (Morell *et al.*, 2018). Por su parte, Saucedo (2008) reporta porcentajes relativamente altos en algunos indicadores como proteína 12%, cenizas 1.67% y almidón 73%.

Beneficios del grano de sorgo en la dieta alimenticia

Los beneficios del consumo de sorgo en la alimentación humana son muchos si lo comparamos con otros cultivos de grano pequeño, entre los principales beneficios se encuentran los siguientes:

- a) Existen sorgos que son ricos en compuestos antioxidantes que son benéficos para la salud humana, además son útiles en el combate del cáncer y enfermedades del corazón (Vasudeva *et al.*, 2004; Awika *et al.*, 2003; Awika y Rooney, 2004) y en su capacidad anti-inflamatoria (Burdette *et al.*, 2010).

- b) En los países en desarrollo existe cada día una mayor demanda de alimentos libres de gluten, el cual es una proteína que se encuentra en el trigo, la cebada y el centeno y causa alergias crónicas en algunas personas, provocándoles los síntomas de la comúnmente llamada “enfermedad celíaca” y el sorgo es un grano que no contiene gluten (Mamoudou *et al.*, 2006).
- c) El grano de sorgo es alto en fibra dietética y las proteínas y el almidón son de más lenta digestibilidad que otros cereales. Estas propiedades son benéficas para preparar alimentos para personas con problemas de diabetes y para el control de la obesidad (Mamoudou *et al.*, 2006; Awika y Rooney, 2004).
- d) Por otra parte, el grano de sorgo tiene ventajas sobre el grano de maíz, ya que representa un sustrato muy pobre para el desarrollo y producción de aflatoxinas (Ratnavathi y Sashidhar, 2000).
- e) En lo que respecta al cultivo de sorgo requiere de muy pocos insumos para su crecimiento y desarrollo, lo que hace factible su producción.

Producción de harina de sorgo

En países de Centroamérica y el Caribe se realiza la producción a gran escala de harina de sorgo, como parte de un programa para combatir el hambre en estas regiones del mundo, así como alternativa viable en la industria de la panificación para producir productos alimenticios a bajo costo y de alta rentabilidad. También se está llevando a cabo esta misma estrategia en regiones de Cuba con el apoyo conjunto del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA) e INTSORMIL y Organismos No Gubernamentales. La harina de sorgo es de aproximadamente la mitad del costo de la harina de trigo, por lo que usar harina de sorgo puede ayudar en el caso de los panaderos a ahorrar dinero y disminuir costos de producción. El tamaño de partícula de la harina de sorgo debe ser lo suficientemente fino como para sustituir la harina de trigo en diferentes recetas de panadería. Se formó un proyecto de colaboración entre la ONG Compatible Tecnología Internacional (CTI) de Minneapolis, MN, EE.UU., INTSORMIL y

CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal) y de esta manera en El Salvador se introdujo los molinos CTI. Los molinos son molinos CTI usados con manivela y que producen harina de diversos granos. Los dos modelos de molinos, Omega VI y Ewing fueron diseñados específicamente para las familias en los países en desarrollo para procesar los cultivos para el consumo en el hogar y para vender en los mercados locales.

En Cuba, el Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP), perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, ha venido desarrollando durante más de veinte años innumerables investigaciones en el cultivo del sorgo destinado a la alimentación humana y animal. En 2011 en un trabajo conjuntamente con las Facultades de Ciencias Económicas y Química-Farmacia, el Hospital Pediátrico de la provincia de Villa Clara, la Empresa Provincial Productora de Alimentos y el CENTA, desarrollaron productos a partir de harinas de sorgo aptos para la alimentación y exentas de gluten y de esta manera contribuir también en la calidad de vida de los niños que padecen la enfermedad celiaca, entre los productos elaborados están galletas, repostería, Cake y otros (Saucedo *et al.*, 2011).

Harina de sorgo como alternativa para personas celiacas

La enfermedad celiaca (EC) fue descrita por primera vez en 1887, por el médico inglés Samuel Gee, como una afección que requiere un adecuado manejo nutricional de por vida (Chávez, 2010). Ante la importante carencia de alimentos durante la segunda guerra mundial, algunas personas mostraron síntomas de la enfermedad celiaca al introducir el pan en su dieta. Fue hasta los años 50 con el surgimiento de la endoscopia y la obtención de biopsias del intestino que se logró describir la atrofia de las vellosidades intestinales como un hallazgo relacionado con la enfermedad (Zawahir *et al.*, 2009). Los estudios recientes reconocen a la EC como uno de los padecimientos crónicos más ampliamente distribuidos en el mundo y con muy variadas formas de manifestarse.

Como se ha mencionado anteriormente, la EC es provocada por el gluten, que es una proteína contenida en algunos cereales como el trigo, centeno y cebada (Burrowes, 2008). El principal y único tratamiento de la EC consiste en la eliminación estricta y de por vida del gluten en la dieta alimenticia. Sin embargo, el llevar una dieta libre de gluten no puede ser tan sencillo por las modificaciones importantes que se lleva a cabo en los individuos afectados y en especial si se trata de niños o adolescentes. La presencia del gluten en los alimentos es lo que produce la textura blanda y suave que caracteriza al pan y sus derivados, de manera que los alimentos que no contienen gluten suelen ser duros y en ocasiones difíciles de masticar (Cobos *et al.*, 2017).

El sorgo y el mijo, cereales que se consumen en África y Asia, son bien tolerados por los pacientes con EC, al igual que el amaranto y el triticale en México (Milke, 2010). El sorgo es un grano libre de gluten que tiene potencial para ser utilizado como una alternativa a la harina de trigo para el mercado de celiaquía (Liman *et al.*, 2012). En países como Argentina y Brasil entre otros, se ha comenzado la difusión del uso de sorgos para la alimentación humana por su alta calidad que puede llegar a ser mayor o igual al 95% del valor nutritivo del maíz. Este tipo de sorgos complementa o sustituye al trigo y otros cereales en la elaboración de productos, además que tiene las ventajas de adaptarse a diferentes áreas ecológicas para ser cultivado, tiene un bajo costo de producción y es más tolerante a factores abióticos. Son estas ventajas y la carencia de gluten del grano lo que le abre las posibilidades al mercado de alimentos para celíacos (Penichet *et al.*, 2009).

En la mayoría de los casos en que se ha empleado el sorgo para consumo humano, se ha buscado enriquecerlo nutricionalmente con la combinación de harinas de otros cereales o con harinas de leguminosas, aunque se ha demostrado que los productos elaborados con 100% harinas de sorgo tienen la suficiente calidad nutritiva para la dieta de los enfermos celíacos.

En Argentina se está desarrollando un tipo de pasta con la suficiente calidad nutricional con alto contenido de fibra y capacidad antioxidante por parte de investigadores del Instituto de Ciencias y Tecnología de alimentos Córdoba

(ICyTAC) con la intención de encontrar una empresa dispuesta a producir las pastas y a trabajar en conjunto. En otro de los casos, en Cuba y El Salvador, se están produciendo genotipos de sorgo para el tratamiento en niños con la enfermedad celiaca. Actualmente, en México la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro está evaluando líneas experimentales de sorgo en base a comportamiento agronómico y calidad nutricional para producción de harina con calidad para elaborar productos con este cereal, lo cual también representaría una alternativa para la dieta de personas celiacas o intolerantes al consumo de gluten en las diversas regiones de México.

Productos elaborados a base de harina de sorgo

Actualmente, hay una gran variedad de productos alimenticios elaborados a partir de harina de sorgo, en algunos países de África, Asia y Centroamérica en donde se cuenta con un recetario de productos elaborados a base de harina de sorgo en el Salvador (INSORTMIL, 2011).

Asimismo, en México se elaboran diversos productos a base de harina y masa nixtamalizada de grano de sorgo, como son: tortillas, totopos, palomitas, tamales, pan, galletas, bebidas, atole, horchata entre otros.

En diversos países de África el sorgo es molido, antes de cocerlo hasta llegar a la producción de harina. En África y en algunos países de Asia, el sorgo es preparado en bebidas fermentadas, resultando en un atole que después de enfriarse se conoce como tuwo, aseda, ugali o mudde, dependiendo de la región geográfica (Rooney *et al.*, 1986). Otros alimentos tradicionales preparados con sorgo incluyen el pan sin fermentación, conocido como chapati, roti y tortilla, o como pan fermentado y bebidas alcohólicas, y no alcohólicas. En Ghana, más del 90% de los alimentos son consumidos usando técnicas ancestrales de procesamiento de alimentos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación se realizó en dos etapas: la primera se llevó a cabo a nivel de campo, y consistió en la evaluación de comportamiento agronómico de líneas experimentales y un testigo híbrido comercial de sorgo a través de la estimación de variables agronómicas. La segunda etapa se realizó en un laboratorio certificado, en donde por medio de un análisis proximal se estimaron parámetros nutricionales en muestras de harina de nueve líneas experimentales de sorgo.

I. Etapa de campo

Material genético

Se analizaron nueve líneas experimentales más un híbrido comercial de sorgo como testigo, este germoplasma experimental de sorgo fue desarrollado inicialmente en trabajos de investigación a nivel de posgrado en mejoramiento genético de sorgo, en instituciones nacionales e internacionales. Actualmente, se continua su desarrollo en el Programa de Mejoramiento Genético de Sorgo del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS), del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN).

Localización del área experimental

La medición de las variables de campo para la evaluación del comportamiento agronómico, uniformidad y estabilidad de las líneas experimentales y el testigo híbrido comercial de sorgo, se realizó en el Campo Experimental Buenavista de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, localizado en las coordenadas geográficas, 25° 21' 13" latitud norte y 101° 01' 56" longitud oeste, con una elevación de 1742 msnm. Su precipitación media anual es de 350-400 mm y una temperatura media anual de 19.8°C. El suelo es de textura migajón y migajón arcillosa, con bajos contenidos de materia orgánica.

Manejo agronómico

La preparación del terreno consistió en barbecho, rastra y surcado con el propósito de acondicionar el suelo para una buena emergencia de la planta. La siembra del cultivo fue durante el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2018.

Se realizó una siembra a una densidad aproximada de 16 plantas por metro lineal, posteriormente se llevó a cabo un raleo para obtener una densidad óptima de 14 plantas por metro, con el objetivo de que las plantas tuvieran un mejor desarrollo durante sus diversas etapas fenológicas.

Se realizó la siembra en seco y posteriormente, se aplicó un riego para promover la germinación y emergencia de las semillas, posteriormente se realizaron riegos por gravedad en función de las condiciones climáticas y el contenido de humedad en el suelo.

Para el control de malezas, se aplicó el herbicida preemergente a base del ingrediente activo (S-metalaclor+Atrazina) al momento de la siembra, a una dosis de aplicación de 1 mL por litro. En las diferentes etapas de crecimiento de la planta se realizaron labores culturales para eliminar la maleza.

Se aplicó fertilizante en banda a base de la fórmula 18-46-00, 46-00-00, en etapa vegetativa, y posteriormente aplicaciones foliares en las diversas etapas fenológicas del cultivo a base de macronutrientes, micronutrientes, ácidos húmicos y fúlvicos, vía foliar y radicular.

En relación a las plagas, se aplicó Endosulfan insecticida y Clorpirifos etil a 1mL por litro para gusano cogollero y pulgón amarillo. También se llevó a cabo la liberación de crisopas para un control biológico, especialmente para control del pulgón amarillo.

Para prevenir la incidencia de ergot del sorgo se realizaron aplicaciones preventivas a base del ingrediente activo Propiconazol, fungicida a dosis de 1mL por litro.

Variables agronómicas evaluadas

1. Días a floración

Se consideró el número de días transcurridos desde la siembra hasta que las plantas de sorgo presentaron el 50% de las panículas en antesis media.

2. Altura de planta

Se midió desde el área basal de la planta hasta el ápice de la panícula con una regla de madera graduada en cm.

3. Longitud de panícula

Se midió a partir de la primera ramificación base de la panícula hasta el ápice de la misma con una regla métrica en cm.

4. Rendimiento de grano en gramos por planta

Para el cálculo de esta variable, se llevó a cabo el trillado de las panículas cosechadas de cada genotipo y se procedió a sacar el peso de tres repeticiones para cada unidad experimental, posteriormente se obtuvo el peso total y se dividió entre las tres repeticiones para obtener el rendimiento promedio de grano en gramos por planta para cada genotipo, se utilizó una balanza analítica marca OHAUS Model Adventurer Pro Av264.

5. Peso de mil semillas

Se tomaron ocho repeticiones de 100 semillas, se dividió entre el mismo número de repeticiones y se multiplicó por 10, después se procedió a registrar su peso en gramos en una balanza analítica marca OHAUS Model Adventurer Pro Av264. Esto se realizó en cada unidad experimental de cada línea.

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con nueve líneas experimentales más un testigo comercial de sorgo con tres repeticiones para un total de 30 unidades experimentales. Los datos de las variables evaluadas se

procesaron con el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS-Institute), versión 9.1 (2004), bajo el siguiente modelo estadístico lineal:

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

Donde:

Y_{ij} = Valor observado de i-ésimo tratamiento en la j-ésima repetición

μ = Media general

β_j = Efecto la j-ésima bloque

G_i = Efecto de i-ésimo genotipo

ε_{ij} = Efecto del error experimental de la j-ésima bloque del i-ésimo genotipo.

$i = 1, 2, 3, \dots, b$

$j = 1, 2, 3, \dots, t$

Se realizó un análisis de varianza para determinar diferencias estadísticas entre los tratamientos para cada variable evaluada. Asimismo, se realizó una prueba de comparación de medias con la Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

II. Etapa de laboratorio

Durante esta etapa se realizaron diversos análisis de calidad nutricional en muestras de harina de sorgo, en un laboratorio certificado por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) y la Secretaría de Salud.

Para esta etapa se consideraron únicamente las nueve líneas experimentales, ya que el testigo comercial de sorgo presentó un nulo rendimiento de grano, debido a la alta incidencia de ataque por daño de aves y por lo tanto, no fue posible realizar el análisis proximal en dicho genotipo.

Preparación del grano de sorgo para molienda

- **Limpieza y lavado**

Consistió en la eliminación de todas las impurezas presentes en los granos de sorgo, tales como, piedras, insectos, tierra y glumas. Después de la limpieza se

llevó a cabo el lavado del grano con agua purificada y utilizando contenedores de plástico limpios y debidamente desinfectados.

- **Secado**

El secado del grano se llevó a cabo de forma natural, en el cual se utilizaron mesas desinfectadas para contener los granos al sol.

Producción de harina

La producción de harina de sorgo comprende la última etapa de todo el proceso y contempla las siguientes fases:

- **Molienda**

La molienda se realizó con un molino del tipo Blendtec Kitchen Mill TM, el cual es uno de los molinos eléctricos más avanzados del mundo para la producción de harina de sorgo.

- **Enfriamiento**

Una vez procesadas en harinas las nueve líneas experimentales de sorgo, se pusieron a enfriar para evitar la condensación de vapores y evitar la generación de humedad en las harinas.

- **Empaque**

Por último, se realizó el empacado de las harinas en bolsas de plástico debidamente cerradas para evitar la entrada de humedad, posteriormente se procedió con el etiquetado de las muestras para la identificación de las líneas y enviarlas al laboratorio para su posterior análisis proximal. Las muestras enviadas constaron de 500 gramos de harina para cada línea experimental.

Análisis proximal

Para el análisis proximal en las harinas, se evaluaron los parámetros de grasa, ceniza, proteína, humedad, fibra cruda, extracto libre de nitrógeno, cadmio total,

arsénico total, plomo total, zinc total, aflatoxinas y materia extraña. Cada parámetro evaluado en el análisis proximal, se realizó de acuerdo a los criterios y especificaciones establecidas en las Normas Oficiales Mexicanas.

Criterios para la evaluación de parámetros en el análisis proximal

Cenizas, aflatoxinas y materia extraña

Para la estimación de estos parámetros en el análisis de las harinas de sorgo, se realizó de acuerdo a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008, productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba.

Grasa

Para el estudio de este parámetro se consideraron los criterios de la Norma Oficial Mexicana NOM-086-SSA1-1994, bienes y servicios. Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. Especificaciones nutrimentales.

Humedad

Se evaluó con base en la norma NOM-116-SSA1-1994: Determinación de humedad en alimentos por tratamiento térmico, mediante método por arena o gasa.

Proteína

El contenido de proteína se estimó de acuerdo a las especificaciones de la norma NMX-F-608-NORMEX-2011. Alimentos, determinación de proteínas en alimentos-método de ensayo.

Plomo, cadmio, arsénico y zinc total

Estos parámetros se evaluaron de acuerdo a los criterios especificados en la Norma Oficial Mexicana NOM-117-SSA1-1994, bienes y servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica.

Fibra cruda

Para la determinación de la fibra cruda se tomó referencia a las especificaciones de la norma NMX-F-613-NORMEX-2017, alimentos determinación de fibra cruda en alimentos-método de prueba.

Correlación estadística entre las variables de campo y proteína

Se realizó un análisis de correlación para las variables agronómicas y el parámetro de proteína de acuerdo a los resultados observados en el análisis de varianza y en la prueba de comparación de medias, así como de los resultados observados en el análisis proximal. Los resultados se representaron en porcentajes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Etapa de campo

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza (Cuadro 5), se pueden observar diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre líneas experimentales y el testigo híbrido comercial de sorgo en las variables días a floración (DF), Altura de Planta (AP), Longitud de Panícula (LP), Rendimiento de Grano en Gramos por Planta (RGP) y Peso de Mil Semillas (PMS). De acuerdo con Flores *et al.* (2012) y Flores *et al.* (2013), reportaron resultados similares al estudiar las mismas variables agronómicas y en el que de igual forma encontraron diferencias altamente significativas entre líneas experimentales de sorgo. Los resultados entre bloques fueron altamente significativos ($P \leq 0.01$) en la variable AP y significativo ($P \leq 0.05$) para la variable LP, mientras que, en DF, RGP y PMS no mostraron diferencias significativas. Las diferencias presentadas entre bloques para las variables AP y LP, pudo deberse a las diferentes condiciones en el que se encontraban distribuidas las repeticiones de cada línea dentro de la unidad experimental, puesto que algunas líneas pudieron sufrir algún tipo de estrés por el tipo de suelo o por un deficiente riego por la ubicación en la que se encontraban dentro del lote.

Cuadro 5. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables agronómicas evaluadas en nueve líneas experimentales y un testigo comercial de sorgo, en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila, ciclo Primavera-Verano 2018.

FV	GL	DF (días)	AP (cm)	LP (cm)	RGP (g)	PMS (g)
Bloques	2	16.6333 NS	619.7230 **	15.1830 *	10.1463 NS	1.1530 NS
Genotipos	9	84.9777 **	756.2270 **	36.1072 **	2618.8408 **	268.5424 **
Error	16	5.4111	63.9563	3.2400	107.3752	4.3148
C.V (%)		2.92	6.86	7.39	14.82	8.22

*, ** = Niveles de significancia al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; NS= no significativo; DF= días a floración; AP= altura de planta; LP= longitud de panícula; RGP= rendimiento de grano en gramos por planta; PMS= peso de mil semillas.

La comparación de medias de las variables agronómicas evaluadas muestra como el híbrido comercial de sorgo usado como testigo en esta investigación, fue el genotipo que presentó floración más tardía con 87 días transcurridos desde el día de la siembra hasta que las plantas estuvieron en el 50% de antesis. Los resultados coincidieron con características similares a las variedades producidas por el programa de granos básicos del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA, 2007), en el que se demuestra que las variedades híbridas fueron las de floración más tardía en relación con las líneas estudiadas. Por otra parte, los genotipos más precoces fueron las líneas 291 de tan solo 70 días a floración y la línea 5 con 72 días. Jiménez *et al.* (2016) en un estudio en líneas de sorgo para estimar el avance de formación de líneas

androesteriles y mantenedoras de la androesterilidad, encontraron que las líneas obtuvieron un rango de floración de 78 a 86 días.

En la variable altura de planta, la comparación de medias muestras que las líneas 284, 197, 278, 188 y 280 superan en altura al testigo comercial, y solo las líneas 185, 184, 70 y 5 obtuvieron una altura menor a este.

En cuanto a longitud de panícula, el testigo fue el único que presentó diferencias estadísticas con 33.9 cm de longitud. Entre líneas no se encontraron diferencias estadísticas.

Todas las líneas experimentales superaron al testigo comercial de sorgo en rendimiento de grano en gramos por planta, ya que el testigo no presentó rendimiento alguno de grano por la incidencia de ataques por aves en campo. Los mejores resultados en esta variable fueron para la línea 284 con 94.63 g y la línea 197 con 93 g.

Para la variable peso de mil semillas (PMS), la línea 280 resultó ser la que presentó diferencia estadística, en relación con las otras líneas que mostraron resultados similares, y próximas a la media general. Lo anterior debido a que todas las líneas recibieron el mismo manejo agronómico en campo, por lo que todas mostraron una buena calidad de grano y pesos considerablemente iguales, por tal caso, se consideró sobresaliente a la línea 280 en la variable PMS, mientras tanto, la línea de menos peso y alejado de la media general, únicamente fue la línea 5 de grano más pequeño con 22.27 g.

De acuerdo, a lo observado en las variables agronómicas, se encontró que los genotipos con más días a floración y de mayor altura, presentaron los mejores rendimientos de grano en gramos por planta.

Cuadro 6. Comparación de medias para las variables agronómicas evaluadas en nueve líneas experimentales y un testigo comercial de sorgo, en el ciclo Primavera-Verano, 2018 en Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Genotipo	DF (días)	AP (cm)	LP (cm)	RGP (g)	PMS (g)
LES 184	78 cd	113.20 ab	24.37 b	88.00 a	25.73 bc
LES 197	81 abc	131.20 a	23.70 b	93.00 a	27.67 bc
LES 185	81 abc	117.43 a	21.80 b	75.40 abc	29.53 ab
LES 280	80 bc	120.00 a	23.01 b	86.27 a	35.10 a
LES 188	79 bc	124.76 a	23.63 b	86.20 a	27.36 bc
LES 284	82 abc	132.10 a	24.07 b	94.63 a	29.43 ab
LES 291	70 e	85.66 c	24.10 b	46.86 c	29.07 ab
LES 5	72 de	92.56 bc	22.10 b	51.30 bc	22.27 c
LES 278	85 ab	130.33 a	22.73 b	77.47 ab	26.33 bc
Testigo	87 a	118.00 a	33.90 a	0.00 d	0.00 d
Media	79	116.53	24.34	69.91	25.25
Tukey	6.81	23.41	5.27	30.33	6.08

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales Tukey ($P \leq 0.05$). DF= días a floración; AP= altura de planta; LP= longitud de panícula; RGP= rendimiento en gramos por planta; PMS= peso de mil semillas

Análisis proximal

Parámetros proximales evaluados en porcentajes

Los porcentajes analizados en los parámetros de grasa, ceniza, proteína, humedad, fibra cruda y extracto libre de nitrógeno que se evaluaron en el análisis proximal en harinas de nueve líneas experimentales de sorgo, presentaron los siguientes resultados:

En contenido de grasa, las nueve líneas de sorgo presentan un equivalente que va desde 2.29 a 2.68%, lo que representa un contenido considerable de acuerdo a las especificaciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-086-SSA1-1994 (Figura 2). La Norma Internacional Codex Standard 173-1989 para la harina de sorgo, establece un 2.2% como mínimo y un 4.7% como máximo, por lo que podemos concluir que los resultados de grasas obtenidos en las harinas de las nueve líneas también cumplen con estas especificaciones. Surco y Alvarado

(2010) reportan también la obtención de un 4.02% de grasa en un análisis fisicoquímico realizado en harinas de sorgo.

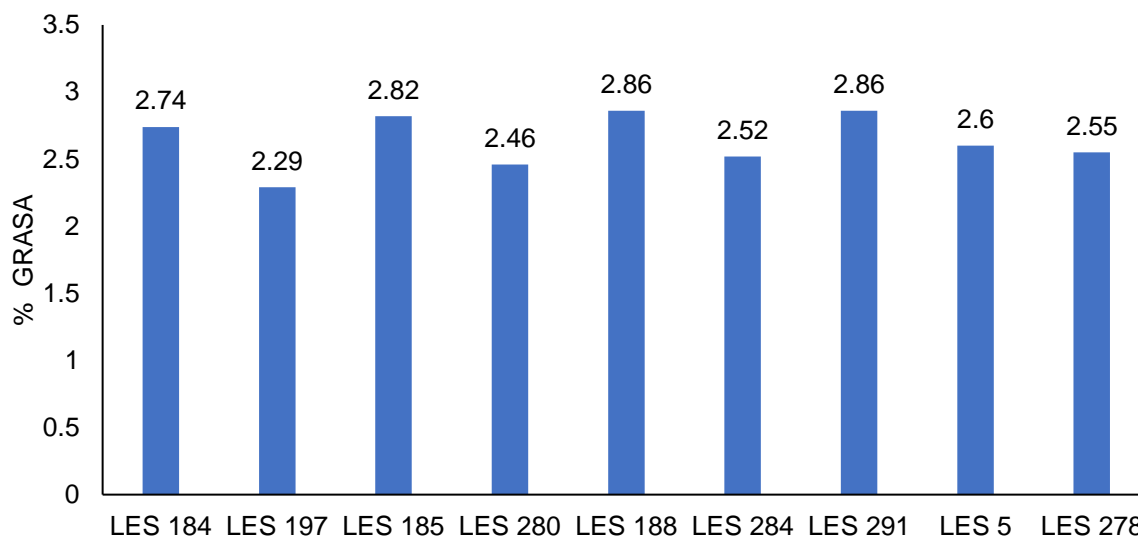


Figura 2. Porcentaje de grasa en nueve líneas de sorgo.

La determinación de cenizas es muy importante, porque de acuerdo a los resultados obtenidos se puede evaluar la calidad de los alimentos. Según Kirk *et al.* (1991) en el análisis de los alimentos, las cenizas son el residuo inorgánico que se obtiene al incinerar la materia orgánica en un producto cualquiera. Para efectos de esta investigación, donde se evaluó el porcentaje de cenizas en harinas de nueve líneas experimentales de sorgo, los resultados presentaron un nivel más bajo comparado con los límites máximos permisibles en la Norma Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008, siendo la línea 185 la de menor contenido y la línea 184 la que presentara los niveles más altos (Figura 3). Asimismo, estos porcentajes también cumplen con lo establecido en la Norma Internacional Codex Standard 173-1989, donde el límite de cenizas en harinas de sorgo debe de ser de 1.5% como máximo.

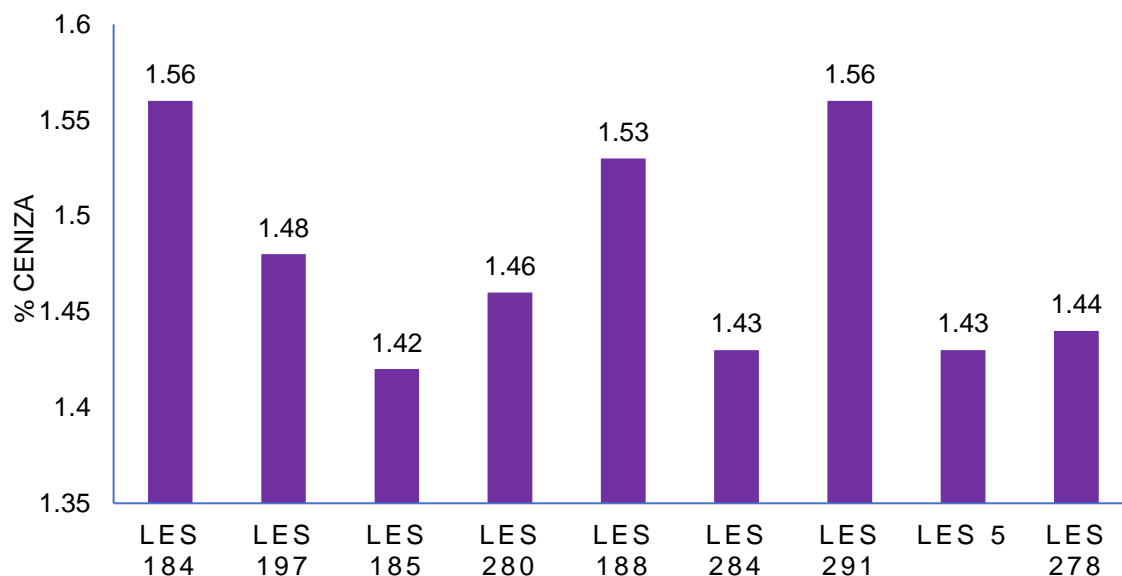


Figura 3. Contenido porcentual de cenizas en nueve líneas de sorgo.

En tanto, en contenido de proteínas, los porcentajes más altos los obtuvieron las líneas 5 y 291, sin embargo, todas las líneas presentan en general porcentajes aceptables, en la mayoría de los casos, mayor del nueve por ciento (Figura 4). Los resultados de estas líneas se comparan incluso con los porcentajes de proteína presentes en otras variedades ya estudiadas de sorgo (Salim *et al.*, 2017), e incluso comparados con otros cultivos, como el maíz (Montes *et al.*, 2010). En la Norma Internacional Codex Standard 173-1989 se establece un mínimo de 8.5 % de proteína en harinas de sorgo, siendo para este caso la línea 188 la que presentara menor porcentaje, pero que aun así supera a lo establecido en dicha Norma. Ruiz (2013) reportó en tres variedades de sorgo estudiadas para consumo humano, un máximo de 8.5 % de proteína. Estos resultados también superan a lo reportado por Miranda *et al.* (2017), en un análisis proximal aplicado en harinas de maíz. Según Lasztity (1996), el grano de sorgo presenta un contenido de proteínas desde 6% hasta 18%. De Mesa *et al.* (2010) mencionan que las concentraciones y modificaciones de las proteínas del sorgo pueden ser un camino para direccionar retos en la investigación de este cereal.

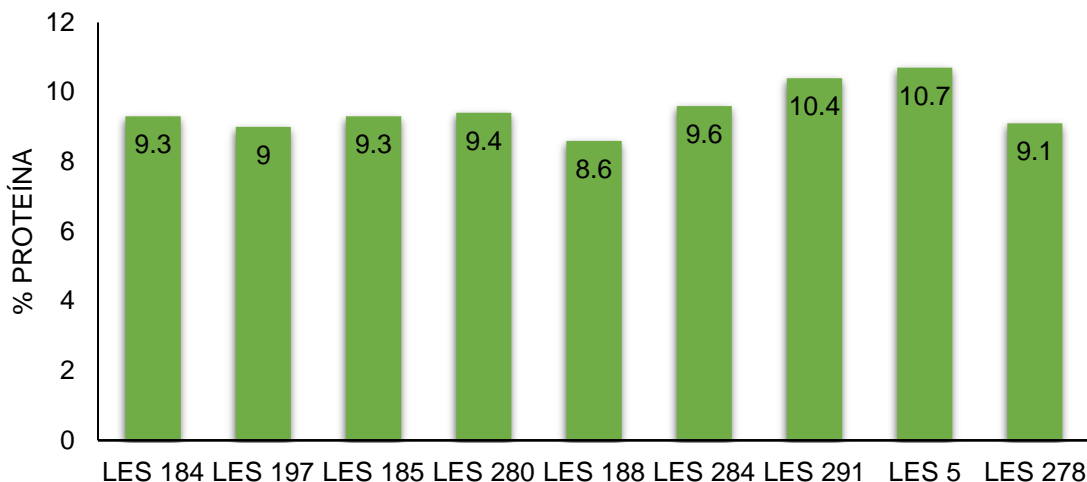


Figura 4. Niveles porcentuales de proteína en nueve líneas de sorgo.

La humedad de las líneas de sorgo estuvo por debajo del 14%. Tomando las especificaciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-116-SSA1-1994, las harinas de las nueve líneas están dentro de los límites permisibles, ya que el límite es del 15% de humedad como máximo. Una alta humedad propicia un ambiente óptimo para el desarrollo de hongos y un riesgo para la salud de los consumidores por la capacidad de algunos hongos de producir toxinas (micotoxinas) (Ruiz, 2013).

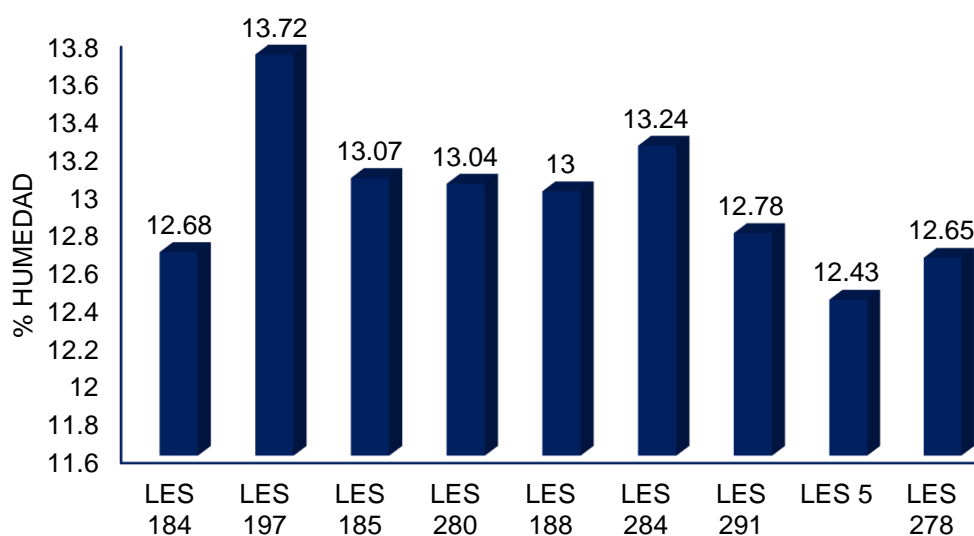


Figura 5. Contenido de humedad en harinas de nueve líneas de sorgo.

Los niveles de fibra cruda para todas las líneas de sorgo fueron de comportamiento aceptable, comparado con los criterios establecidos en la Norma NMX-F-613-NORMEX-2017, siendo la línea 184 el valor más alto con 2.73%. En seis líneas de sorgo evaluadas, se supera el porcentaje de fibra cruda de las variedades usadas para la elaboración de panes en El Salvador de 2% (INTSORMIL, 2010).

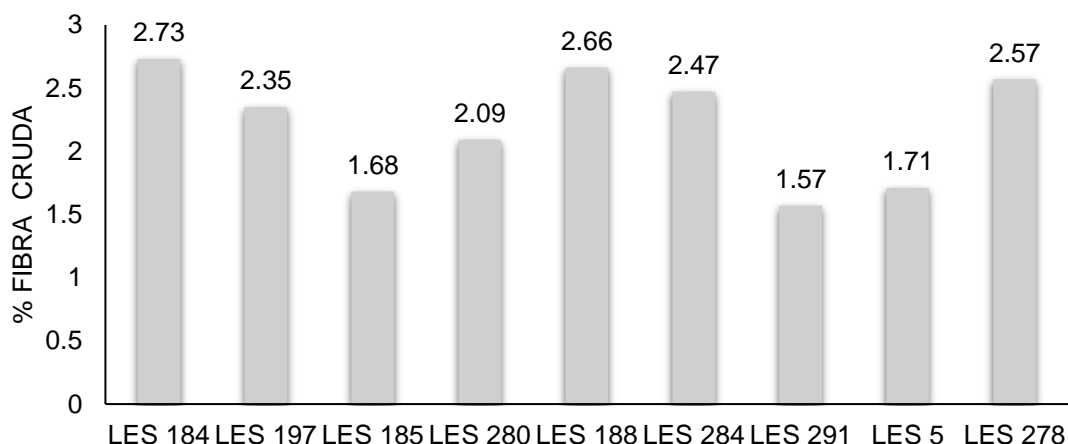


Figura 6. Aportación porcentual de fibra cruda en nueve líneas de sorgo.

Para el extracto libre de nitrógeno (ELN), las líneas de sorgo estuvieron entre el 70 y 72% (Figura 6). Al ELN también se le puede considerar como un contenido de carbohidratos solubles (Reveles *et al.*, 2010).

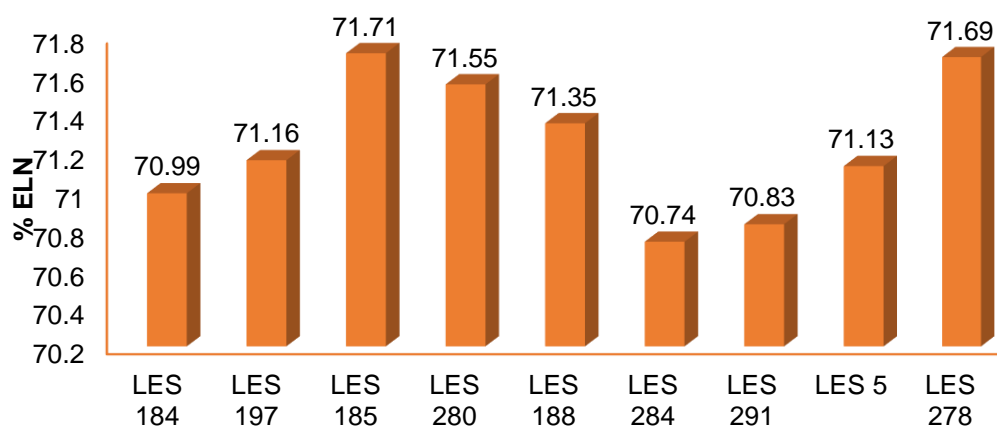


Figura 7. Comportamiento porcentual de ELN en nueve líneas de sorgo.

Análisis proximal en metales pesados

En estudios recientes se ha reportado la presencia de metales pesados y metaloides como mercurio (Hg), arsénico (As), plomo (Pb), cadmio (Cd), zinc (Zn), níquel (Ni) y cromo (Cr), en hortalizas tales como la lechuga, repollo, calabaza, brócoli y papa (Chen *et al.*, 2013). La contaminación por estos materiales proviene entre otros causales del uso para riego de aguas afectadas. (Fransisca *et al.*, 2015). Dependiendo del tipo de metal o metaloide serán las afecciones que se produzcan, que van desde daños en órganos vitales hasta desarrollos de enfermedades cancerígenas (Combariza, 2009). A nivel mundial ya se han reportado casos en personas que dan cuenta de las afecciones en la salud por causa del consumo de alimentos contaminados por metales pesados. Los límites máximos permisibles de concentración de metales están muy bien establecidos en agua. Sin embargo, aún falta por definir los límites de concentración y los riesgos de Hg, As y Cd en hortalizas, legumbres y cereales (Reyes *et al.*, 2016).

En los parámetros calculados en mg/kg en el análisis proximal para metales pesados en harinas de sorgo, se observan que todas las líneas experimentales se encuentran dentro de los límites permitidos por las Normas Oficiales Mexicanas (Cuadro 7).

El cadmio, se encuentra ampliamente distribuido en la corteza terrestre en una concentración media de 0.1 mg/kg. (Osorio *et al.*, 1997). Es un constituyente muy habitual en casi todos los compuestos de zinc, que pueden llegar a contener entre un 0.1 a 0.3% de cadmio. Solo por citar algunas consecuencias del consumo de cadmio: la Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR), señala que el ingerir alimentos con niveles muy altos de cadmio produce irritación grave del estómago, vómitos y diarrea, pudiendo ocasionar en algunas ocasiones la muerte (ATSDR, 2012). Para el parámetro de cadmio total, se establece en la Norma Oficial Mexicana un límite máximo de 0.1 mg/kg por los riesgos que ocasiona a la salud (Pérez y Azcona, 2012), y en el cual se observan resultados menores en las nueve líneas experimentales de sorgo evaluadas en esta

investigación, por lo que todas cumplen con los límites establecidos en esta norma al presentar cantidades inferiores a 0.1 mg/kg.

Los resultados del arsénico en las muestras de harina no representaron niveles que se consideraran peligrosos para consumo humano en las nueve líneas evaluadas, tomando como referencia que este metal en cantidades considerables puede ocasionar algún tipo de intoxicación e incluso, es considerado en el grupo de las sustancias cancerígenas (Londoño *et al.*, 2016; Rubio *et al.*, 2004).

Por otra parte, el contenido de plomo total en las harinas presentó resultados favorables con 0.040 mg/kg para las nueve líneas experimentales de sorgo, mientras que el límite permitido en la Norma Oficial Mexicana es de 0.5 mg/kg como máximo. Los resultados fueron muy importantes, ya que el plomo es un mineral que puede representar peligroso si se llega a ingerir en cantidades que sobrepasen los límites aceptables (Mushak, *et al.*, 1989). Un caso muy particular se dio en la población infantil de Torreón, Coahuila donde se reportaron casos por envenenamiento de plomo (Pb) proveniente de actividades industriales que incorporan este metal a la cadena alimenticia y al agua (Valdés, 1999).

Respecto al zinc total, las harinas de las líneas 197 y 291 fueron las que aportaron mayor cantidad, y la línea 5 fue la de aporte más bajo. Los resultados nos indican que todas las líneas cumplen con la ingesta diaria recomendada para la población mexicana de 10 mg (Rosado *et al.*, 1999). La National Institutes of Health (NIH) recomienda una ingesta diaria de zinc dependiendo de la edad de la persona, de 2 a 12 mg diariamente por considerarse un nutriente muy importante para el pleno desarrollo y crecimiento de los niños, así como para la salud en adultos mayores. El límite máximo recomendado según este organismo es de hasta 40 mg para personas adultas y de 4 mg para niños de 6 meses de edad (NIH, 2016).

Cuadro 7. Metales pesados estimados en análisis proximal en harinas de nueve líneas experimentales de sorgo (mg/kg).

Parámetro	LES 184	LES 197	LES 185	LES 280	LES 188	LES 284	LES 291	LES 5	LES 278
Cadmio total	<0.040	<0.040	<0.040	<0.040	<0.040	<0.040	<0.040	<0.040	<0.040
Arsénico total	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020
Plomo total	<0.040	<0.040	<0.040	<0.040	<0.040	<0.040	<0.040	<0.040	<0.040
Zinc total	19.8	20.7	21.1	19.4	19.9	19.8	21.6	14.1	15.5

Análisis proximal de aflatoxinas y materia extraña

Para los niveles de aflatoxinas en las harinas, las líneas de sorgo presentaron resultados, por debajo de los 20 µg/kg establecido como nivel máximo en la NOM-247-SSA1-2008 en alimentos para consumo humano. La línea con más contenido de aflatoxinas fue la 278, pero estuvo muy por debajo de lo establecido en la Norma Oficial Mexicana (cuadro 8). Estos resultados concuerdan con lo mencionado por Ratnavathi y Sashidhar (2000), quienes consideran que el sorgo tiene ventajas sobre otros granos como el maíz, ya que representa un sustrato muy pobre para el desarrollo y producción de aflatoxinas. La incidencia natural de aflatoxinas es más frecuente en maíz y cacahuate, mientras que para grano pequeño (sorgo, avena, trigo arroz, cebada y centeno) parecen ser menos susceptibles a la contaminación por aflatoxinas (Vázquez y Moreno, 2016; SAGARPA,2016).

Correlaciones entre variables agronómicas y contenido de proteína

Las variables agronómicas que presentaron correlación con el parámetro de proteína evaluado en harinas de nueve líneas experimentales de sorgo fueron: días a floración (DF) con una correlación significativa ($r = -0.78$), con altura de planta (AP), y de igual manera presentó una correlación negativa altamente significativa con proteína ($r = -0.83$), y con rendimiento en gramos por planta (RGP) ($r = -0.81$). Por otra parte, estas variables que correlacionaron con el parámetro de proteína, presentaron también una correlación entre ellas de forma positiva. La variable días a floración tuvo una correlación altamente significativa ($r = 0.95$) con altura de planta, y con rendimiento en gramos por planta ($r = 0.80$). Asimismo, es importante mencionar que las líneas evaluadas, que mostraron los mejores resultados para rendimiento de grano, fueron las de floración más tardía. Estos datos se asemejan a los reportados por Gómez y Meckenstock (1990), en una investigación en híbridos de sorgo.

Cuadro 9. Correlación entre variables agronómicas y contenido de proteína en nueve líneas de sorgo.

	DF	AP	LP	RGP	PMS	PROT
DF	-----	0.94845 **	-0.09936 NS	0.80224 **	0.27429 NS	-0.77787 *
AP		-----	0.09123 NS	0.90956 **	0.27072 NS	-0.83526 **
LP			-----	0.32674 NS	0.14117 NS	-0.15481 NS
RGP				-----	0.34253 NS	-0.81045 **
PMS					-----	-0.26402 NS
PROT						-----

CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos, se concluye que entre las líneas evaluadas existen genotipos con alto potencial de rendimiento, como la línea 284, y un aceptable contenido de proteína; a su vez se observó precocidad para la variable días a floración, en las líneas experimentales 291 y 5.
- En los parámetros evaluados en harinas, las nueve líneas experimentales de sorgo cumplen con los criterios máximos y mínimos establecidos por las Normas Oficiales Mexicanas, para la elaboración de harinas y su uso en la alimentación humana.
- Con los resultados obtenidos a nivel de campo y de laboratorio, se da cumplimiento con el objetivo de la investigación de producir e identificar granos y semillas de germoplasma de sorgo rendidoras y con potencial para consumo humano.

LITERATURA CITADA

- ATSDR (Agency for Toxic Substances & Disease Registry). 2012. Public Health Statement for Cadmium. Consultado en noviembre de 2019. Disponible en: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp5-c1-b.pdf>
- Awika, JM and Rooney, LW. 2004. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry*. 65 (9): 1199-1221.
- Awika, JM., Rooney, LW., Wu, X., Prior, RL and Cisneros, L. 2003. Screening methods to measure antioxidant activity of sorghum (*Sorghum bicolor*) and sorghum products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 6657–6662.
- Boadas, B., Lannes, M., Rodríguez, M., Vargas, A y Chaves, J. 2005. Características nutritivas de los principales alimentos y aditivos utilizados en la alimentación animal. *Nutrición y Alimentación Animal*. T1. 2da parte. La Habana, Cuba. pp. 218
- Burdette, A., Garner, P., Mayer, E., Hargrove, J., Hartle, D and Greenspan, P. 2010. Anti-Inflammatory Activity of Select Sorghum (*Sorghum bicolor*) Brans. *Journal of medicinal food* 13: 879-887.
- Burrowes, JD. 2008. Helping adults with celiac disease to eat well. *Nutrition Today* 43: 250-257.
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal). 2012. El sorgo para elaboración de alimentos. División de Comunicaciones CENTA. Ciudad Arce, La Libertad. El Salvador (en línea). Consultado mayo 2019. Disponible en <http://centa.gob.sv>
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal). 2007. Guía técnica del sorgo. Ciudad Arce, La Libertad. El Salvador (en línea). Consultado mayo 2019. Disponible en <http://centa.gob.sv>
- Chávez, JA. 2010. Enfermedad celiaca en México. *Revista de Gastroenterología de México* 2(75):238-240.
- Chen, Y., Hu, W., Huang, B., Weindorf, DC., Rajan, N., Liu, X and Niedermann, S. 2013. Accumulation and health risk of heavy metals in vegetables from harmless and organic vegetable production systems of China. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 98: 324-330.
- Cobos, OJ., Hernández, GA y Remes, JM. 2017. Trastornos relacionados con el gluten: panorama actual. *Med Int Méx.* 33(4):487-502.

- Combariza, DA. 2009. Contaminación por metales pesados en el embalse del Muña y su relación con los niveles en sangre de plomo, mercurio y cadmio y alteración de salud en los habitantes del municipio de Sibaté (Cundinamarca). Trabajo de Maestría, Universidad Nacional de Colombia. Pp. 1-115.
- De Mesa, N., Alavi, S. and Bean, S. 2010. Sorghum Proteins: The Concentration, Isolation, Modification, and Food Applications of Kafirins. *Journal of Food Science* 75 (5): 90-104
- Dykes, L., Rooney, W. and Waniska, D. 2005. Phenolic compounds and antioxidant activity of sorghum grains of varying genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 6813-6818.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2019. FAOSTAT. ProdStat database, yearly production (en línea). Consultado en diciembre del 2019. Disponible en <http://www.faostat.fao.org>
- Flores, A., Rooney, W. and Portillo, O. 2016. Evaluation of Total Phenols and 3-Deoxyanthocyanidins in Sorghum Grain using near-Infrared (NIR) Spectroscopy. *International Journal of Agriculture Innovations and Research* 4: 751-755.
- Flores, A., Valdez, CGS., Rooney, W., Olivares, E., Zavala, F., Gutiérrez, A y Vázquez ME. 2012. Rendimiento de grano en líneas de sorgo cultivadas bajo riego y riego limitado en Texas. *Revista internacional de botánica experimental* 80: 113-121.
- Flores, A., Valdés, C.G.S., Zavala, GF., Olivares, SE., Gutiérrez, DA y Vázquez, ME. 2013. Agronomic performance of sorghum seed production lines. *Agronomía Mesoamericana*. 24 (1): 111-118.
- Fransisca, Y., Small, DM., Morrison, PD., Spencer, MJ., Ball, AS. and Jones, OA. 2015. Assessment of arsenic in Australian grown and imported rice varieties on sale in Australia and potential links with irrigation practices and soil geochemistry. *Chemosphere* 138: 1008–1013.
- Gómez, F. y Meckenstock, DH. 1990. comportamiento de sorgos graníferos. Tegucigalpa D.C. Divulgación técnica No. 2. Tegucigalpa Honduras. 3p.
- Hawkins, R. 1984. Observaciones agroecológicas y la experimentación agrícola. Guías para la fase de diagnóstico de la investigación en fincas de sorgo. Información referente a la producción de sorgo en América Latina. Ed. CLAIS. Honduras, pp. 215-218.

- Iannone, N. 2003. Daño de *Diatraea* en sorgo. Alerta. Ataque de *Diatraea* en maíz. INTA. Pergamino. Consultado en septiembre 2019. Disponible en: <http://www.nt-solutions.com.ar/>.
- ICRISAT (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics). 2009. Annual report 2009. ICRISAT, Patancheru. Andhra Pradesh, India. 68 p.
- INTSORMIL (International Sorghum and Millet). 2010. Harina de sorgo en la industria de la panificación. San Andrés, El Salvador.
- INTSORMIL (International Sorghum and Millet). 2011. Recetario de productos elaborados a base de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench). San Andrés, El Salvador. 29 p.
- Jiménez, A., Sánchez, V., Carranza, JI y Padilla, JM. 2016. Avance en la formación de líneas andrestériles y mantenedoras de la esterilidad en sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias 3 (8): 1-8.
- Kirk, R., Sawyer, R y Egan, H. 1991. Composición y Análisis de los Alimentos. de Pearson; Editorial Continental. pp. 25 – 50.
- Lasztity, R. 1996. The Chemistry of Cereal Proteins. 2da edition. CRC Press, Inc. Boca Raton, FL, USA. 336 p.
- Liman, L., Herald, T., Wang, D., Wilson, JD., Bean, SR and Aramouni, FM. 2012. Characterization of sorghum grain and evaluation of sorghum flour in a Chinese egg noodle system. Publications from USDA-ARS / UNL Faculty. 858 p.
- Londoño, LF., Londoño, PT y Muñoz, FG. 2016. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial 14:145-153.
- Mamouduo, HD., Grupen, H., Traore, AS., Voragen, AGJ and Van Berkel, WJH. 2006. Sorghum grain as human food in Africa. African Journal of Biotechnology 5(5):384-395.
- Martin, HJ. 1975. Historia y clasificación de los sorgos. Producción y uso del sorgo. Ed. JS, Wall y W. Ross. Editorial París. pp. 3-18.
- Milke, P. 2010. Tratamiento dietético de la enfermedad celiaca. Revista de gastroenterología de México 2(75):187-188.
- Miranda, S., Esquivel, J., Ruíz, J y Rivers, E. 2017. Análisis proximal de granos de arroz, frijol, maíz y café comercializados en el mercado Roberto Huembes de Managua. Revista Universidad y Ciencia 9(14): 45-51.

- Montes, N., García, MA., Castillo, H., Pecina, V y Anaya, JL. 2010. Sorgo (sorghum bicolor (L) Moench) blanco: alternativa para la alimentación humana. Campo experimental Tamaulipas, INIFAP. Folleto técnico Num. 45. Río Bravo, Tam., México. 13 p.
- Morell, A., Expósito, AM y Ruz, R. 2018: "El Sorgo. Una Alternativa económica Y sostenible De alimento en El Municipio Jobabo.", Revista DELOS Desarrollo Local Sostenible. Consultado septiembre 2019. Disponible en: eumed.net
- Mushak, P., Davis, JM., Crocetti, AF and Grant, LD. 1989. Prenatal and postnatal effects of low-level lead exposure: integrated summary of a report to the U.S. Congress on childhood lead poisoning. Environ Res 50:11-36.
- NIH (National Institutes of Health). 2016. Datos sobre el Zinc. Consultado en noviembre 2019. Disponible en: <https://ods.od.nih.gov/pdf/factsheets/Zinc-DatosEnEspanol.pdf>
- NOM, Norma Oficial Mexicana-086-SSA1-1994, Bienes y servicios. Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. Especificaciones nutrimentales. Consultado mayo 2019. Disponible en <http://www.economia-noms.gob.mx>
- NOM, Norma Oficial Mexicana-247-SSA1-2008, Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba. Fecha de consulta mayo 2019. Disponible en <http://dof.gob.mx>
- NOM-117-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica. Fecha de consulta octubre 2019. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/117ssa14.html>
- OCDE. (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2016. Perspectivas Agrícolas 2016-2025. Producción y consumo mundial de sorgo. Mercado mundial de cereales secundarios (sorgo, cebada y avena).
- Osorio, L., Tovar, A y Fortoul, T.1997. Introducción a la toxicología ambiental. Capítulo 13 p. 211-26.

- Penichet, M., Darias, M., Saucedo, O y Guerra, M. 2009. El sorgo en la alimentación de niños celíacos: una alternativa. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, abril 2009.
- Pérez, A., Saucedo, O., Iglesias, J., Wencomo, HB., Reyes, F., Oquendo, G y Milián, I. 2010. Caracterización y potencialidades del grano de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Pastos y Forrajes* 33:1-26.
- Pérez, PA y Azcona, MI. 2012. Los efectos del cadmio en la salud. *Revista de especialidades médico-quirúrgicas* 17: 199-205.
- Quinby, JR y Schertz, R. 1975. Genética, fitotecnia, producción de semilla de sorgo híbrido. *Producción y Uso del Sorgo*. Editores Joseph S. Wall y Williams M. Ross. Ed. hemisferio sur. pp 43-53
- Ratnavathi, CV and Sashidar, RB. 2000. Changes in enzyme activities and aflatoxin elaboration in sorghum genotypes following *Aspergillus parasiticus* infestation. *J. Sci. Food agric. West Sussex*. John wiley & Sons Limited 80 :1713-1721.
- Reveles, FO., Rosales, R., Nava, CA., Delgado, E., Cuellar, I., Carrete, FO y Ríos, JL. 2010. identificación de especies vegetales con potencial para la producción de biocombustibles líquidos en durango, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 1(1): 45-54.
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M y González, E. 2016. Contaminación por Metales Pesados: implicaciones en Salud, Ambiente y Seguridad Alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*16 (2): 66-77.
- Rooney, LW., Kirleis, AW and Murty, DS. 1986. Traditional foods from sorghum: their production, evaluation and nutritional value. *Adv. Cereal Sci. Technol.* 8: 317-353.
- Rosado, J., Camacho, R y Bourges, H. 1999. Adición de vitaminas y minerales a harinas de maíz y de trigo en México. *Salud pública de México* 41: 130-137.
- Rubio, C., Gutiérrez, AJ., Martín, RE., Revert, C., Lozano, G y Hardisson, A. 2004. El plomo como contaminante alimentario. *Revista de toxicología* 21: 72-80.
- Ruiz B. 2013. Evaluación de variedades de sorgo, cultivadas en la estación experimental de la UCLV, para su uso en la elaboración de alimentos destinados a pacientes celíacos. Tesis en opción al Título de Máster en Desarrollo de Medicamentos de Origen Natural. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Facultad de Química-Farmacia, Departamento de Farmacia. Santa clara Cuba. Pp-34.

- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2016. Almacenamiento en México. Claridades agropecuarias. Consultado en octubre 2019. Disponible en: <https://info.aserca.gob.mx/claridades/revistas/271/ca271.pdf>
- Salim, ERA., El Aziz Ahmed, WA., Mohamed, MA., Adam, M., Al Taib, M and Yousif, S. 2017. Security in Rural Areas by Adaptation of Technology and Innovation in Sudan. *Journal of Food, Nutrition and Population Health* 1 (1): 1-15.
- Saucedo, OM. 2008. Empleo del sorgo en la alimentación animal y humana. Taller Nacional sobre empleo del sorgo. Universidad Central de Las Villas. Villa Clara, Cuba.
- Saucedo, OM., Calderon, VR., Fernández, L., Penichet, M y De la Torre, J. 2011. Utilización de la Harina de Sorgo en la Alimentación de los Niños "Celiacos" en la Provincia de Villa Clara, Republica de Cuba. *INTSORMIL* 47: 1-26.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2019. Avance de siembras y cosechas resumen nacional por cultivo. Consultado mayo 2019. Disponible en: <http://infosiap.siap.gob.mx>
- Smith, CW. 2000. Sorghum Production Statistics. Page 7 in: *Sorghum: Origin, history, technology and production*. C. Smith, ed. John Wiley and Sons: New York.
- Smith, ME., Ciará, R y V. Guiragossian. 1984. La definición de metas para el mejoramiento de sorgo para sistemas de producción. In. *Información referente a la producción de sorgo en América Latina*. Ed. CLAIS. Honduras, pp 271-283.
- SNICS (Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas). 2019. Regla para la calificación de semilla de sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench.). consultado junio 2019. disponible en www.gob.mx.
- Surco, JC y Alvarado, JA. 2010. Harinas compuestas de sorgo-trigo para panificación. *Revista Boliviana de Química* 27 (1): 19-28.
- Valdés, F. 1999. La contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila, México. Texas Center for Policy Studies, Primera ed. p.50. Consultado en noviembre 2019. Disponible en: <http://www.texascenter.org/publications/torreon.pdf>.
- Valladares C. 2010. Taxonomía y Botánica de los cultivos de grano. Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Centro Universitario Regional del Litoral

Atlántico (CURLA), Departamento de producción vegetal asignatura cultivos de grano Sección 10:01. 28p

Vanderlip, R and Reeves, H. 1972. Growth stages of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Journal Agronomy 64: 13–16.

Vasudeva, GK., Chandrashekar, A and Rajini, PS. 2004. Antiradical properties of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) flour extracts. Journal of Cereal Science 40(3): 283-288.

Vázquez, ME y Moreno, E. 2016. Postcosecha de granos. Claridades Agropecuarias 271: 3-6.

Zawahir, S, Salta, A and Fasano A. 2009. Pediatric celiac disease. Curr Op Pediatrics 21(5): 655-66.