

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Evaluación de Híbridos Experimentales de Sorgo para Grano (*Sorghum bicolor*
L. Moench) en Dos Ambientes de Prueba

Por:

CARLOS ALBERTO GABRIEL ZUNUN

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México.

Mayo de 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Evaluación de Híbridos Experimentales de Sorgo para Grano (*Sorghum bicolor*

L. Moench) en Dos Ambientes de Prueba


CARLOS ALBERTO GABRIEL ZUNUN

TESIS

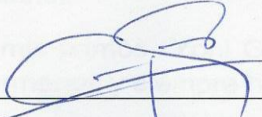
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

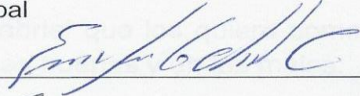
Aprobada por el Comité de Asesoría:


M.C. Luis Ángel Muñoz Romero

Asesor Principal


Dr. Enrique Navarro Guerrero

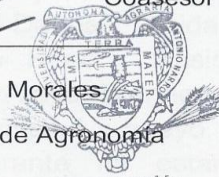
Coasesor


M.C. Enrique Gustavo Charles Cárdenas

Coasesor


Dr. Gabriel Gallegos Morales

Coordinador de la División de Agronomía



Coordinación
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.

Mayo de 2018

AGRADECIMIENTOS

Gracias a la UAAAN mi preciada Alma-Terra-Mater que me abrió sus puertas y me dio las herramientas para mi formación académica y profesional.

Al Dr. Enrique Navarro y al Ing. Luis Ángel Muñoz por permitirme trabajar en este trabajo de investigación

A mi papá Enner Gabriel Morales y a mi mamá por creer en mí y apoyarme cuando más lo necesitaba y por sus sabios consejos, te amo mamá y papá

A mis hermanos Yuri Gabriel Zunun y José Gabriel Zunun por apoyarme y creer en mí

A mis abuelos Margarita Morales y Raymundo Gabriel y a mis tíos, en especial a Ubegner Diaz, Julia y Elizabeth Zunun y Herminia Gabriel.

A mis primos Yoni Gudiel y Neftalí Gabriel que los quiero como a hermanos y siempre hemos estado en las buenas y en las malas.

A mis amigos Esdrael Joachin, José Antonio González, Luis Oseguera, Yuritzi Ramírez, Doriang Arroyo, Froilán Juárez, Isidro Luis, Alberto García, Nancy Lara, Danna Trinidad, Estefani Contreras, Marcelo Velázquez, Jorge Rene, Rusidel Gómez, Jazmín Escobedo, Jorge Alonso, Isaac Araya, Dianner y Alejandro Sandoval por haberme brindado su amistad y apoyo y por pasar momentos maravillosos antes y durante mi estancia en la universidad.

DEDICATORIA

A Dios:

Por haberme permitido avanzar un escalón más y concluir una etapa de mi vida, nunca me fallo y siempre me puso las herramientas y me brindo ayuda cuando se lo pedí y más lo necesitaba.

A mi mamá:

Para Alicia Zunun Ramírez la mujer más hermosa, maravillosa y valiente que yo he conocido siempre supo sacarnos adelante a mis hermanos y a mí, nunca poder pagarle todo lo que ha hecho por mí, infinitamente la amo.

A mi papá:

Enner Gabriel morales es el hombre más humilde y valiente que he conocido, me apoyo en todo momento, sus consejos nunca los olvidare porque me han ayudado a ser mejor persona, siempre supo sacarnos adelante y a educarnos de una manera digna, te amo papa.

A mis hermanos

Son las personas más maravillosas por los que daría mi vida aunque no se los diga, siempre me motivaron, creyeron en mí y nunca me dejaron caer.

A mi profesor Rolfi Marconi Hidalgo Gonzales:

Fue el mejor profesor que tuve en la primaria, ayudo mucho en mi formación académica, el siempre creyó en mis capacidades y dijo que en un futuro yo sería un gran profesional, después de 11 años él tenía razón, le mando un gran saludo y abrazo hasta el cielo querido profesor.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA.....	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iii
RESUMEN.....	1
I. INTRODUCCIÓN.....	2
OBJETIVOS:.....	4
HIPÓTESIS.....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
V. CONCLUSIONES.....	52
VI. LITERATURA CITADA.....	53
VII. APÉNDICE.....	64

RESUMEN

El sorgo es (*Sorghum bicolor* L. Moench) uno de los cereales más importantes a nivel mundial debido a que es utilizado para diferentes fines como forraje para alimentación de ganado, para productos domésticos como escobas, alimentación humana etc. Además de que es un cultivo con eficiencia hídrica, por lo que es resistente a sequías. La presente tesis realiza la comparación de 56 híbridos de sorgo grano en dos localidades, el trabajo experimental se llevó a cabo en Roque, Gto y La Estancia, Qro, durante el 2015. Para establecer el experimento se utilizó un diseño de bloques completamente al azar, el manejo agronómico que se le dio al cultivo fueron las tradicionales utilizadas en la región. Se evaluaron las variables días a floración (DF), altura de planta (AP), tamaño de panoja (TP) y rendimiento de grano (Rend). Se encontró diferencias altamente significativas para todas las variables en ambos ambientes, En promedio, considerando su media, el híbrido que resultó ser más tardío fue el 15; mayor altura el 25; tamaño de panoja el 49; y el rendimiento más alto lo obtuvo el híbrido 37. El que resultó más precoz fue el híbrido 4; menor altura el 19; menor tamaño de panoja el 18; y el de menor rendimiento de grano fue el 23. En la localidad de Roque se observaron híbridos con rendimientos más altos que en la localidad de La Estancia.

Palabras claves: *Sorghum bicolor*, Híbridos, ambientes

I. INTRODUCCIÓN

El sorgo es un cultivo muy importante a nivel internacional y mundial, debido a que es utilizado para diferentes fines, el mayor uso que se le otorga es para forraje, sin embargo también se utiliza para alimentación humana, alimentación para aves de corral y otras, además de ser muy utilizado en otros países como materia prima en la almidonería y la industria alcoholera (Vitale *et al.*, 1998).

el sorgo es un cultivo muy eficiente debido a su gran tolerancia a sequias, se adapta muy bien a ambientes bajo condiciones de clima seco, debido a su sistema radicular ramificado le permite una mayor profundidad en la penetración del suelo lo que le permite una mayor eficiencia en la retención de humedad, por esto mismo se dice que este cultivo es tolerante a sequias, se puede mantener sin agua durante un largo periodo de tiempo, manteniendo un estado de latencia y continua su desarrollo cuando se le presentan las condiciones favorables, por lo mismo antes mencionado es el cultivo más eficiente en cuanto al uso del agua.

La mayor producción de sorgo se concentra en muy pocos estados del país dichos estados son; Tamaulipas (40.2%), Guanajuato (15.9) y Sinaloa (13.3 %), cabe mencionar que este cultivo se siembra prácticamente en todo el país, pero solo algunos estados tienen fechas de siembras muy bien definidas y cuentan con la tecnología necesaria para obtener buenos rendimientos.

La necesidad mundial de aumentar de manera sostenible la producción de cereales como una alternativa para contribuir a la seguridad alimentaria y cubrir las necesidades crecientes de los pueblos, ha propiciado que los productores

busquen mayores rendimientos en las áreas improductivas utilizando especies que se adapten a esas condiciones. El déficit de granos previsto a partir del 2050 será de 450 millones de toneladas anuales, lo cual equivale a 220 kg/ha per cápita, por lo que se hace necesario crear estrategias para incrementar la producción con altos rendimientos.

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

La formación de nuevos genotipos requiere evaluar los materiales genéticos en diferentes ambientes y medir su interacción genotipo-ambiente (IG x A), la cual da una idea de la estabilidad fenotípica de los genotipos ante las fluctuaciones ambientales y es necesario para el desarrollo de un programa de mejoramiento genético del tomate en México.

En los últimos años se han desarrollado modelos que permiten estudiar y medir la interacción genotipo ambiente de los cultivos, esto con la finalidad de establecer cultivos en ambientes determinados donde puedan desarrollarse y así obtener buenos resultados de producción. Entre ellas destaca el modelo Additive Main Effects and Multiplicative Interactions (AMMI) por su gran capacidad para interpretar un gran número de genotipos en varios ambientes, este método es actualmente de los más usados ya que consideran a los genotipos y ambientes como efectos aditivos y lineales permitiendo su estudio por medio de un análisis de varianza (ANVA). (Crossa *et al.*, 1990). El modelo AMMI ha mostrado ser efectivo en el análisis de ensayos multirregionales, ya que captura una gran proporción de la suma de cuadrados de la I G*A, separando en forma precisa los efectos principales de aquellos correspondientes a la interacción (Gauch, 1988).

En el siguiente trabajo se aprecia la evaluación de diferentes híbridos de sorgo en diferentes localidades y por ende ambiente para poder determinar cuál es el

que presenta la mejor adaptación a dichos ambientes, comparando su rendimiento con diferentes testigos y poder saber cuáles son los mejores para su producción.

OBJETIVOS:

Determinar la magnitud de la interacción genotipo ambiente de híbridos de sorgo en las localidades de Roque, Guanajuato y la Estancia, Querétaro.

Conocer la respuesta de los híbridos con mejor adaptación y seleccionar los mejores para las localidades antes mencionadas.

HIPÓTESIS

H₀: Las medias de respuesta de los híbridos experimentales son iguales

H₁: Las medias de respuesta de los híbridos experimentales son diferentes.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen e importancia del sorgo

2.1.1 Origen

El origen de este cultivo ha sido discutido a través de los años, ya que se plantea que procede del noreste de África, en la región ocupada por Etiopía, aunque se ubicó inicialmente en la India. Se introdujo en América en el siglo XVIII. Se considera que muchas especies distintas se cultivan de forma esporádica en países de América, y que los sorgos actuales son híbridos de esas introducciones o de mutantes que han aparecido.

2.1.2 Importancia

El sorgo es el quinto cereal de mayor importancia en el mundo, después del trigo, el arroz, el maíz y la avena (Pacheco, 1998). Los principales lugares de producción de sorgo se encuentran en las regiones áridas y semiáridas de los trópicos y subtropicos (Hidalgo, 1997; Doggett, 1998).

En África una parte importante se destina al consumo humano, mientras que en América y Oceanía la mayor parte del sorgo producido se emplea para el consumo animal; por ejemplo, en la alimentación del ganado (Ostrowski, 1998; Salermo, 1998; Oramas *et al.*, 2002), en aves de corral, además de ser muy utilizado en otros países como materia prima en la almidonería y la industria alcoholera (Vitale *et al.*, 1998).

La demanda de sorgo se encuentra fuertemente concentrada en países tales como: Estados Unidos de América, con una producción de 11,9 millones de toneladas (Mt) de grano, India (9,5 Mt), Nigeria (7,5 Mt) y México (6,4 Mt), que se consideran como productores líderes.

A su vez posee alto potencial de producción de granos y buenas perspectivas de contribución al desarrollo de la agricultura. (Pérez A. eat., 2010)

2.2 Clasificación taxonómica

Reino Plantae

División Magnoliophyta

Clase Liliopsida

Orden Poales

Familia Poaceae

Subfamilia Panicoideae

Tribu Andropogoneae

Género *Sorghum* Moench, 1974

2.3 Morfología

El sorgo tiene hábito y fisiología vegetal (metabolismo de las plantas C₄) similares a los del maíz (*Zea mays*). El género *Sorghum* presenta un sistema radical profuso que le brinda una estructura de soporte muy desarrollada, lo que permite acumular gran cantidad de reservas; además le confiere una mayor capacidad de penetración y mejor persistencia en climas secos, donde la escasez de agua se mantiene por períodos prolongados; su tallo es grueso, con espinas que nacen por pares, y la altura puede oscilar de 1 a 3 m. Los nudos presentan abundantes pilosidades. Las hojas son alternas, aserradas, lanceoladas, anchas y ásperas en su margen; estas tienen la propiedad de quitinización durante los períodos secos, lo que retarda el proceso de desecación (González, 1961; Duke, 1983).

Tiene inflorescencias en panojas; cada panícula puede contener de 400 a 8 000 granos, con un valor energético aproximado de 1,08 Mcal/kg; comparado con el maíz es un poco más rico en proteínas, pero más pobre en materia grasa deficitaria en lisina. El color del grano varía desde un blanco translúcido hasta un pardo rojizo muy oscuro, con gradaciones de rosado, rojo, amarillo, pardo y colores intermedios; sus semillas son esféricas y oblongas, de aproximadamente 3 mm de tamaño.

Las flores tienen estambres y pistilos, pero se han encontrado en Sudán sorgos dioicos. Su semilla es gruesa, comprimida, oval y desnuda, y presenta varios colores como café, azulado, negro, blanco, rojizo y amarillo, entre otros.

Es una planta que puede crecer desde 0 a los 1 500 msnm, pero la mejor altura para su cultivo está entre 0 y 800 m.

Se plantea que el número de días al corte es una característica de importancia primordial cuando se trata de identificar variedades forrajeras (Ruiz; Cruz, 2005). Este cultivo tiene una gran capacidad para rebrotar después de cortes sucesivos, con lo que se logra prolongar su vida productiva por cinco o seis años, bajo un sistema adecuado de manejo y fertilización.

Es una especie fotoperiódica. En Nicaragua García (2003) reportó respuestas acerca de las variedades fotoinsensibles, y en El Salvador asocian el sorgo al maíz (DGEA, 2004); mientras que Arias (2004) planteo que si se asocia con soya representaría una opción ventajosa en Cuba, no sólo para mejorar la eficiencia de utilización de la tierra, sino para promover una mayor calidad del forraje cosechado, sin afectar la producción del grano.

2.4 Eficiencia hídrica del cultivo de sorgo

El sorgo se cultiva generalmente bajo condiciones de climas secos y calientes. Comparado con el maíz. El sorgo tiene un sistema radicular y ramificado. Las

raíces de las planta penetran un mayor volumen de suelo para obtener la humedad.

El sorgo se considera el cultivo más eficiente en el uso del agua (Graveros, 2003). Es tolerante a la sequía, capaz de sufrir escasez de agua durante un período de tiempo bastante largo y reemprender su crecimiento más adelante cuando cesa esta.

Por otra parte, necesita menos cantidad de agua que otros granos para formar un kilogramo de materia seca debido a mecanismos de escape o de tolerancia a la sequía (especialmente en la etapa de diferenciación floral) sin perjudicar el rendimiento (Castro *et al.*, 2000). Se plantea que el período crítico de necesidad de agua comprende desde el momento que aparece la panícula en las hojas del vértice de las plantas, hasta el final del estado leñoso del grano.

Agua necesaria para producir un kg de materia seca (ms):

Cereal	Cantidad (kg)
Sorgo	27,1
Maíz	35,0
Trigo	50,5
Soja	64,5

Las variaciones en los rendimientos por efecto de la deficiencia hídrica son menos marcadas en el sorgo, debido a su menor sensibilidad al estrés hídrico, sobre todo en el período crítico de la generación. A pesar de que el sorgo tiene la capacidad de permanecer latente durante la sequía, para después crecer en los períodos favorables, el estrés modifica su comportamiento: el inicial conduce generalmente a una prolongación del ciclo de cultivo, mientras que el tardío acelera la madurez.

La enzima carboxilasa fosfoenilpiruvato es la responsable de que esta planta tenga habilidad para mantener la eficiencia fotosintética bajo estrés (Maranville; Madhavan, 2002). También se plantea que cuando el tejido experimenta estrés

hídrico, en este se produce un cierre estomático para restringir la pérdida de agua, o debe ajustar el tamaño de la célula o el potencial osmótico, de manera tal que el potencial hídrico de la célula baje para mantener la fluidez del agua líquida (Krieg, 2000).

Se han estudiado muchas variedades de sorgo, tales como: CIAP 2, CIAP 6 y CIAP 132-R. Saucedo (2008) destaca la variedad UDG-110, la cual muestra un alto grado de tolerancia a la sequía y evasividad al calor; otras variedades registradas presentan cualidades importantes.

2.4.1 Resistencia a la sequía

De acuerdo con lo informado por Saucedo (2008), el sorgo presenta las siguientes características:

- a) Un sistema radical muy ramificado (su índice radical duplica al del maíz) y un déficit de presión de difusión en sus raíces, también superior al de la mayoría de los cultivos.
- b) Una capa de cera que recubre las hojas y tallos, que disminuye la evaporación.
- c) Células motoras o higroscópicas que están regular y abundantemente dispuestas a lo largo de la nervadura central de las hojas, de modo que producen un acartuchamiento de toda la hoja cuando falta el agua, formando un ambiente confinado que disminuye la evaporación; este mecanismo es una importante contribución a la economía de agua. En el maíz, en cambio, las células motoras existen en focos aislados y, como consecuencia, su resistencia a la sequía es mucho menor.
- d) Un número de estomas mayor que en el maíz, pero su tamaño es mucho menor (aproximadamente la mitad). Esto le brinda mayor seguridad a la apertura y cierre, respondiendo con prontitud a las variaciones de humedad del ambiente.

e) Facultad de entrar en «reposo vegetativo» cuando falta el agua. Los sorgos, en general, entran en período de dormancia o reposo vegetativo, que abandonan cuando hay de nuevo disponibilidad de agua.

2.5 Usos del Sorgo

Empleo del sorgo como alimento energético en la dieta animal

El sorgo puede ser procesado para incrementar el valor alimenticio de las raciones a través de diferentes técnicas. Los productos se ofrecen como alimento al ganado, a las gallinas ponedoras de huevo, otras aves, los cerdos y las ovejas, y también son utilizados en la alimentación de las mascotas.

Su contenido de celulosa, lignina y otros carbohidratos complejos en la fibra bruta, lo convierten en una fuente energética y proteínica de alta calidad nutricional en la crianza y engorde de los animales. El exceso de energía se almacena en forma de grasa corporal, y este es el elemento más costoso en la producción porcina.

Las producciones porcinas se desarrollan con sistemas de explotación que utilizan tecnologías muy avanzadas, los cuales incluyen altos volúmenes de cereales y fuentes proteínicas, que por lo general no se producen en cantidades suficientes y rentables en el país. Ello genera una fuerte dependencia de las materias primas extranjeras (Argenti; Espinosa, 2000).

En ese sentido, Acuero *et al.* (1983) y Saucedo *et al.* (2008) plantearon que la sustitución parcial o total del maíz por sorgo puede incrementar las ganancias de peso vivo; mientras que Neumann *et al.* (2002) señalaron que cuando se utiliza *S. bicolor* en ensilajes mixtos, esto representa un menor costo de producción y podría ser una alternativa técnicamente recomendable para los sistemas de producción que presentan deficiencias de áreas de cultivo.

Tanto la panícula ensilada como el grano seco o ensilado de sorgo pueden ser utilizados como fuentes principales de energía en la alimentación de los cerdos en crecimiento y ceba (Marrero *et al.*, 2008).

Los concentrados que se utilizan para la alimentación de las aves deben poseer la mayor cantidad de nutrientes, para garantizar el buen desarrollo y el crecimiento sano y equilibrado; por eso deben combinar carbohidratos, minerales, vitaminas, proteínas y grasas en las cantidades adecuadas. Ello se puede lograr con el empleo de este grano.

Las semillas (de trigo, maíz, cebada, arroz, avena y sorgo, entre otros) enteras o en harinas, suministran carbohidratos de calidad a las aves.

Uso del sorgo en la alimentación humana

El sorgo es uno de los granos más importantes en la alimentación básica sobre todo en zonas africanas, donde antes de ser consumido fermentan la semilla (fermentación láctica). Las semillas de éste puede ser consumido como arroz o ser molida y obtener harina, en el continente africano también es habitual consumir papilla preparadas con la fermentación de harinas (sorgo, maíz, mijo), no es recomendable consumir hojas y tallo de plantas jóvenes o menor a un metro porque contiene ácido cianhídrico que es toxico para la salud.). Además Las semillas se pueden germinar y comer crudas en ensaladas

La harina que se obtiene del sorgo no contiene gluten por lo tanto es apto para gluten; se utiliza para la elaboración de pasteles, galletas, galletas, dulces, cerveza etc. (Botanical, 2017).

2.6 Mercado y producción de sorgo a nivel mundial y nacional

2.6.1 Mercado internacional

En el mundo, el sorgo es un producto agrícola que se utiliza para diversos fines, ya sea como alimento humano, forraje, entre otros. En México, este grano es uno de los productos más utilizados para consumo forrajero. Además, es considerado

como un buen sustituto de otros granos, como puede ser el maíz amarillo (panorama agroalimentario, 2016).

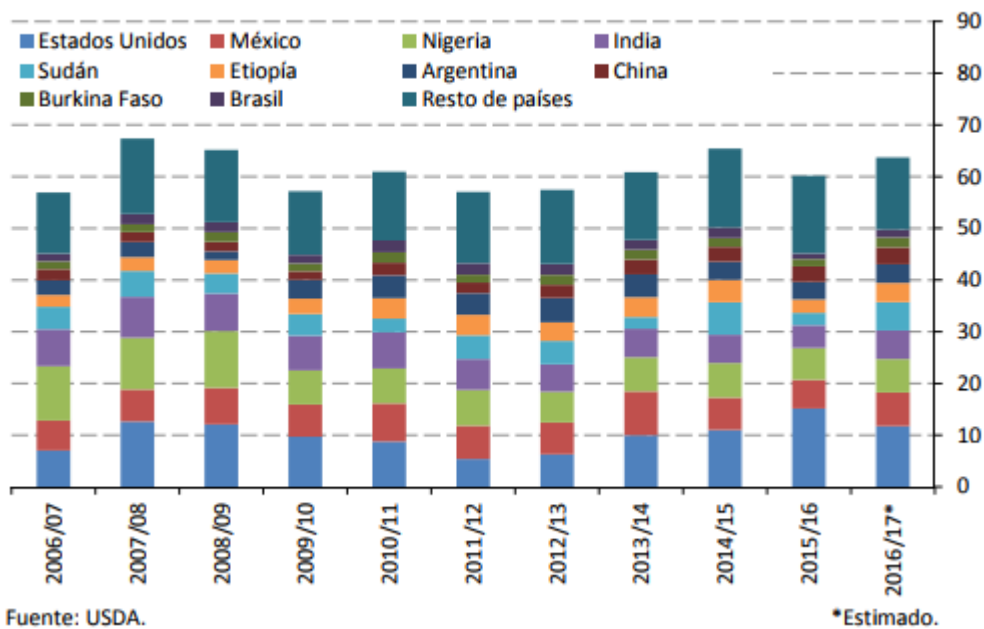
2.6.2 Producción mundial

Se prevé que durante el ciclo comercial 2016/17 se observará un nivel de producción mundial de 63.7 millones de toneladas. Las expectativas de producción para el ciclo mencionado representan un aumento de 5.9 por ciento con respecto a la producción obtenida en 2015/16. Lo anterior ante un incremento de 7.1 por ciento en el rendimiento promedio mundial. Destaca el crecimiento en la producción de sorgo en Nigeria, México, Sudán, India y Etiopía. En el caso de Estados Unidos, principal productor en el mundo de este grano, se espera decremento en su producción para el ciclo 2016/17. Para 2016/17, el 73 por ciento de la producción mundial de sorgo se concentrará en ocho países: Estados Unidos, que participa con el 18 por ciento del total; Nigeria y México, que participan con alrededor de 10 por ciento cada uno; Sudán e India, cada uno con una participación cercana a 9 por ciento del total mundial; y con menores participaciones se encuentran Etiopía, Argentina y China.

Entre los ciclos comerciales 2006/07 y 2015/16, la producción de sorgo en el mundo presentó un crecimiento promedio anual de 0.6 por ciento, para ubicarse en este último en 60.2 millones de toneladas. Se considera que, en general, las condiciones climatológicas han sido favorables en las principales regiones productoras del mundo para mantener dicho crecimiento.

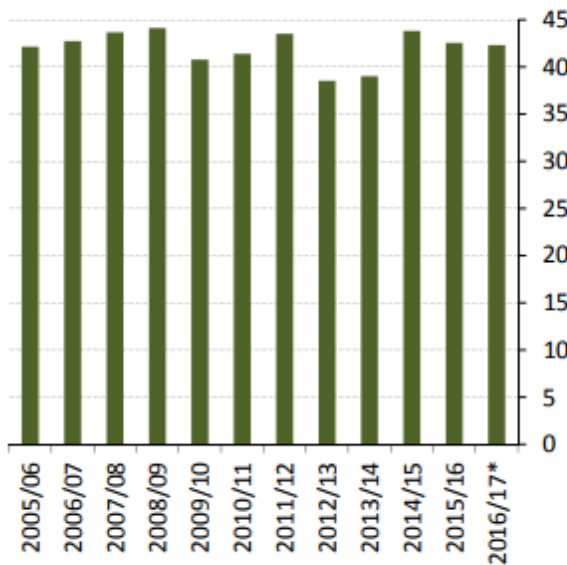
En México, segundo país productor en el mundo, para el ciclo 2016/17 se pronostica un aumento de 17.1 por ciento en relación al ciclo anterior. Este aumento en la producción se lograría después de que se tuvieron afectaciones de pulgón amarillo en el ciclo inmediato anterior. Así, la producción en nuestro país se estima que llegará a 6.5 millones de toneladas (USDA 2016)

Producción mundial de sorgo, 2006/07 - 2016/17*
(Millones de toneladas)

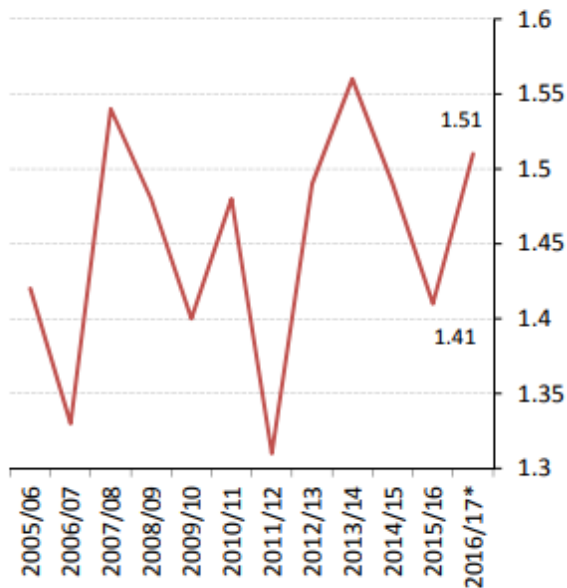


Producción mundial de sorgo, 2005/06 - 2016/17*

a) Superficie cosechada
(Millones de hectáreas)



b) Rendimiento promedio
(Toneladas por hectárea)



Fuente: USDA.

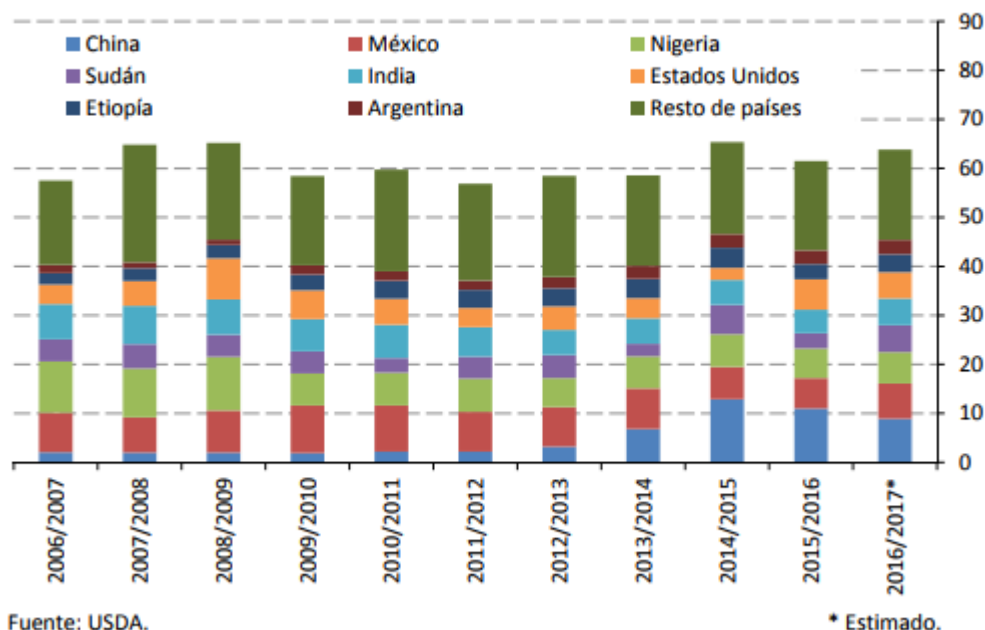
*Estimado.

2.6.3 Consumo del sorgo a nivel mundial

El consumo mundial de sorgo ha mostrado una tendencia creciente en los últimos 10 años. En este periodo, compuesto por los ciclos del 2006/07 al 2015/16, se ha registrado un crecimiento de 0.7 por ciento a tasa media anual; desagregado por tipo de consumo, el consumo forrajero ha crecido a una tasa media anual de 2.5 por ciento mientras que el consumo humano e industrial decreció en 0.5 por ciento en promedio durante el citado periodo.

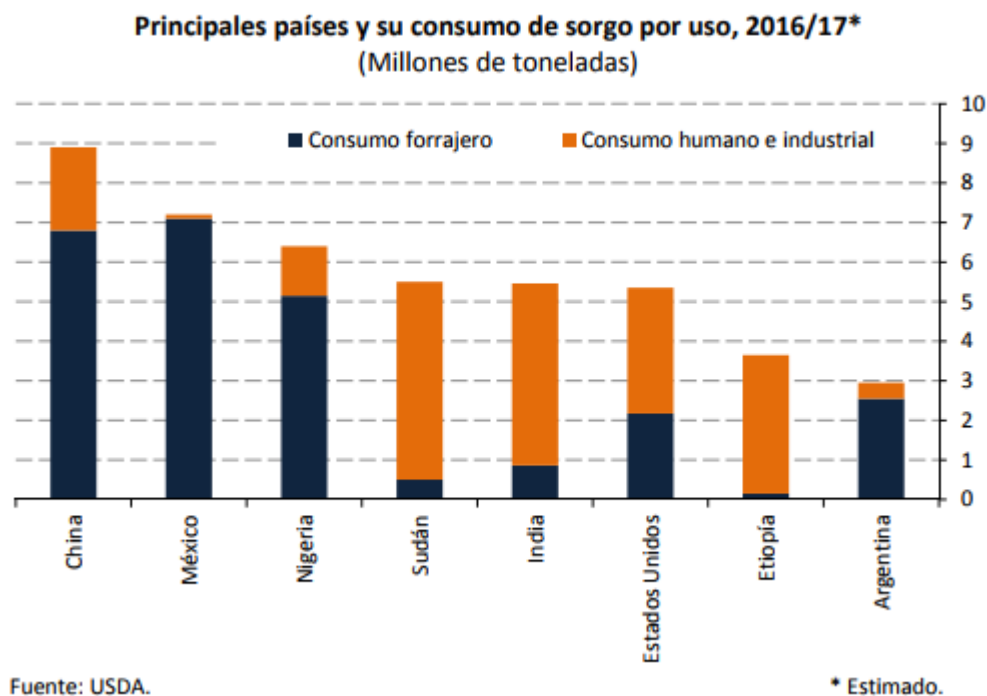
Para el ciclo comercial 2016/17 sitúan el consumo mundial de sorgo con un crecimiento de 3.8 por ciento anual, es decir, se espera sea de 63.8 millones de toneladas. Dicho crecimiento resulta de una combinación entre un decremento de 1.6 por ciento en el consumo forrajero y un aumento de 8.2 por ciento en el consumo humano, industrial y semilla, los cuales se situarán en 27.2 y 36.7 millones de toneladas, respectivamente. Ocho países concentran el 71.1 por ciento del consumo total mundial: China, México, Nigeria, Sudán, India, Estados Unidos, Etiopía y Argentina. Así, con excepción de China y Estados Unidos, en donde el consumo bajaría con respecto al ciclo anterior, el consumo de sorgo presenta tendencia creciente en los principales países consumidores.

Principales países consumidores de sorgo, 2006/07 - 2016/17*
(Millones de toneladas)



De manera específica, para el ciclo comercial 2016/17, el consumo en China se estima en 8.9 millones de toneladas. Este país tiene el nivel más alto de utilización de sorgo en el mundo. Dicha cifra se separa de acuerdo a los usos siguientes: 2.1 millones de toneladas corresponden a consumo humano, industrial y semilla, y el restante, 6.8 millones de toneladas, corresponde a consumo forrajero. Las estimaciones de USDA prevén un decremento de 19.1 por ciento en el consumo chino de sorgo para el ciclo comercial 2016/17, debido a la reducción de los precios de otros granos sustitutos, como el maíz.⁶ La demanda de sorgo de México, segundo consumidor mundial, durante el ciclo comercial 2015/16 se colocó en 6.2 millones de toneladas. Las expectativas para el 2016/17 estiman un crecimiento de 16.1 por ciento en la demanda, con lo que el volumen de consumo alcanzaría 7.2 millones de toneladas. Dicho incremento es motivado por crecimiento en el consumo forrajero. Las estimaciones de consumo para 2016/17 en Nigeria se ubican en 6.4 millones de toneladas, lo que representaría un incremento anual de 5.8 por ciento. Esto, ante un aumento de 16.3 por ciento en la demanda forrajera del grano, mientras que el consumo

humano e industrial presentaría una reducción de 22.8 por ciento a tasa anual. (USDA 2016).



2.6.4 Mercado nacional

El Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, por su sigla en inglés) estima que la producción mundial de sorgo 2016/2017 será de 65.24 millones de toneladas, ocupando el quinto lugar mundial de acuerdo con su producción y superficie cosechada.

México se ha mantenido en el segundo lugar como país productor del grano desde el ciclo 2010-11, después de Estados Unidos.

En nuestro país el sorgo es una fuente de alimentación muy importante para el ganado porcino y las aves en términos de producción de carne y huevo.

Por su costo de producción, el grano es competitivo con respecto al maíz.

Los principales estados productores de sorgo en México durante el ciclo otoño-invierno son Tamaulipas y Sinaloa, junio es cuando se obtiene la mayor parte de

la producción durante dicho periodo. En tanto, Guanajuato y Michoacán son las principales entidades productoras durante el ciclo primavera-verano, cosechando la mayor parte de su producción durante el mes de noviembre.

En el 2014 se alcanzó un nivel máximo histórico de producción nacional de 8.4 millones de toneladas, lo que representó un crecimiento de 33.1% respecto de los 6.3 millones de toneladas producidas en el año agrícola 2013.

Una parte de este incremento en la producción nacional se atribuyó al aumento de la superficie cosechada, pero de igual forma al incremento en los rendimientos obtenidos.

No obstante que el consumo nacional de sorgo aumentó en el 2014, las importaciones disminuyeron debido al incremento en la producción; también se puede explicar esta merma por la caída de los precios, vinculada con una mayor oferta de este grano y el efecto del bajo precio del maíz que promueve su importación en sustitución del sorgo.

Un hecho significativo que es necesario tomar en cuenta en torno a este cereal se presentó a finales del 2013 en Tamaulipas, en donde se reportó la presencia de una nueva plaga denominada pulgón amarillo del sorgo (*Melanafis sachari*) que afectó la producción.

En Guanajuato de igual forma se presentó la misma plaga a partir del ciclo primavera verano 2014, con afectaciones al cultivo poco significativas. Para el 2015 la mencionada plaga perturbó la producción de sorgo tanto en riego como en temporal, reduciendo la producción hasta en 100% en los sitios donde no se atendió el problema.

Lo anterior significó que sólo se cosecharan 845,000 toneladas, impactando en 56% respecto de la producción del 2014, a pesar de que la superficie cosechada sólo había disminuido 10 por ciento.

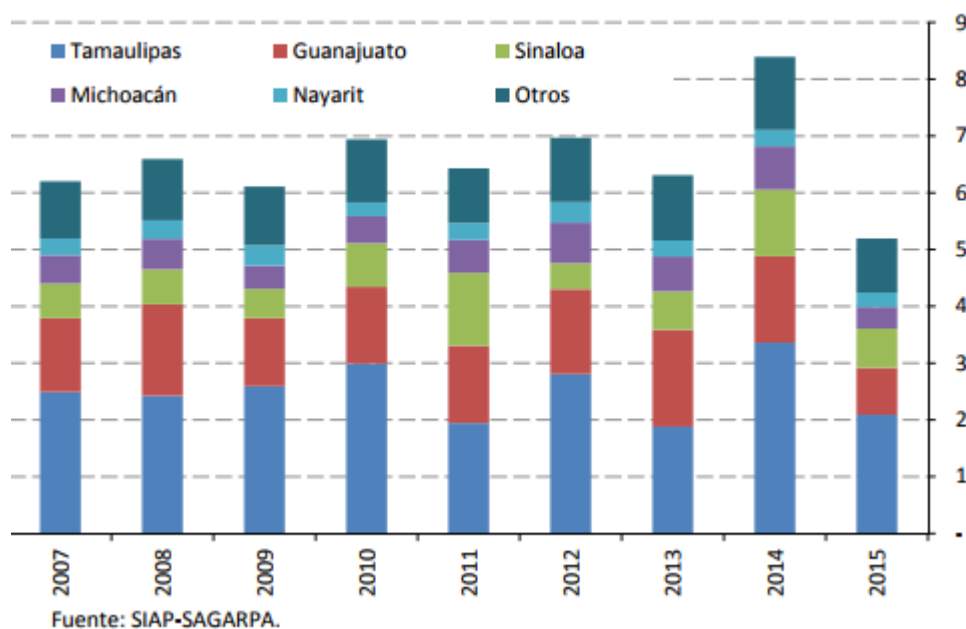
En el 2014 se cosecharon 260,000 hectáreas, en tanto que en el 2015, sólo 236,000.

En Guanajuato ante la amenaza de esta plaga en el 2016 sólo se sembró poco más de 89,000 hectáreas de sorgo; afortunadamente reportes actuales a casi un mes de la mayor parte de la cosecha señalan que el riesgo de afectación de la plaga será mínimo

En el ciclo 2015, el 73.3 por ciento de superficie sembrada de este grano fue para temporal y el resto, es decir 36.5 por ciento, se destinó a la modalidad de riego. Aun cuando la superficie bajo modalidad de riego en México es menor para el cultivo de sorgo, los rendimientos promedio por hectárea son considerablemente superiores a los reportados en superficie de temporal y han mostrado un mayor dinamismo.

Durante el año agrícola 2015, cinco estados concentraron aproximadamente el 82 por ciento de la producción nacional de sorgo grano. Tamaulipas se ubica como el principal productor de sorgo en el país con una participación de 40.2 por ciento, lo cual representa un volumen de 2.0 millones de toneladas. En segundo lugar se encuentra Guanajuato con 15.9 por ciento de participación y un volumen de producción de 0.8 millones de toneladas. El tercer lugar lo ocupa Sinaloa con una participación de 13.3 por ciento del total y un volumen de 0.7 millones de toneladas. Considerando la producción estatal por modalidad hídrica es posible observar la particular composición de la producción en Tamaulipas durante 2015, en donde el 73.6 por ciento de la producción se obtuvo bajo modalidad de temporal. Asimismo, la producción de Tamaulipas y Nayarit se obtiene durante el ciclo Otoño- Invierno, mientras que en el resto de los estados productores se obtiene principalmente durante Primavera-Verano.(SIAP-SAGARPA 2016)

Principales estados productores de sorgo grano en México, 2007-2015
(Millones de toneladas)



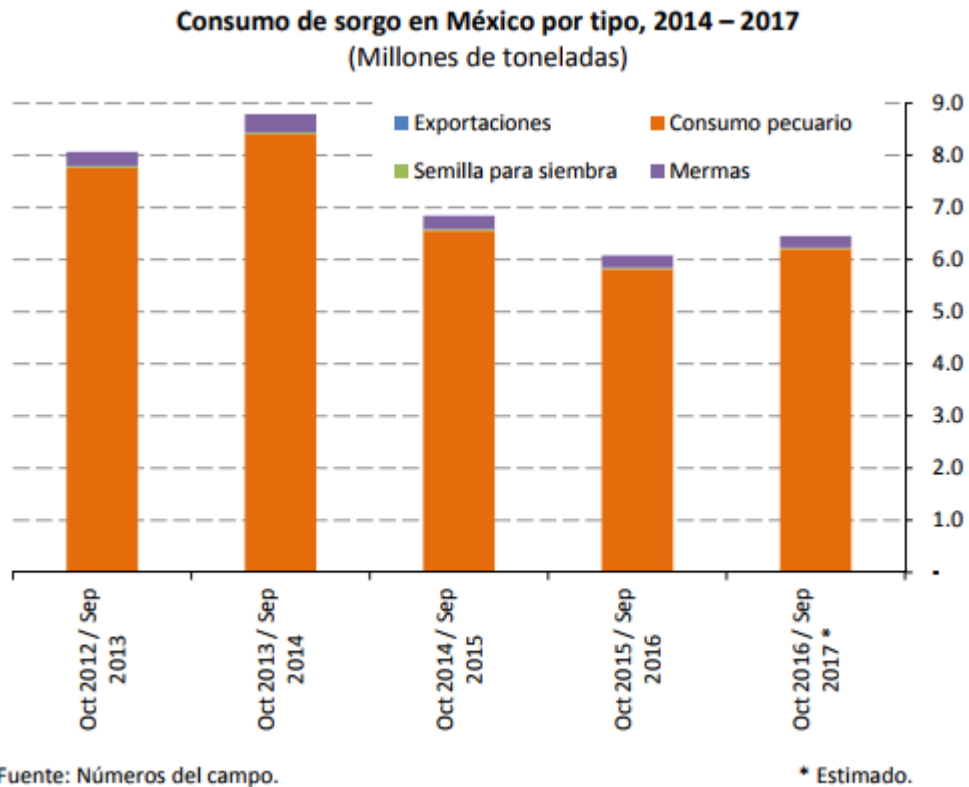
2.6.5 Consumo de sorgo a nivel nacional

El consumo nacional de sorgo para el ciclo 2016/17 se estima llegará a las 7.2 millones de toneladas, colocando a México como el segundo principal consumidor de este producto únicamente por detrás de China. El consumo nacional de este grano muestra recuperación después de la tendencia a la baja observada desde el ciclo 2014/15. El ciclo 2015/16 representó el consumo mínimo de los últimos veinte años. Estimaciones oficiales esperan que el consumo aparente de sorgo para el próximo ciclo aumente en un 17.6 por ciento a tasa anual.

La recuperación en el consumo del sorgo es motivada por el incremento en la producción nacional de este grano, que permitirá un menor uso de otros granos sustitutos como el maíz para forraje. La producción nacional de sorgo aporta más del 90 por ciento del volumen consumido en México. Por su parte, el consumo proveniente del saldo de la balanza comercial se espera se mantenga en niveles similares a los del ciclo anterior, ubicándose alrededor de las 0.7 millones de toneladas. Por ciclo comercial, el consumo doméstico de sorgo grano muestra un crecimiento con respecto al ciclo anterior. Así, de acuerdo con estimaciones

oficiales, en el ciclo comercial 2016/17 el consumo de sorgo crecería 6.1 por ciento a tasa anual para ubicarse en 6.5 millones de toneladas.

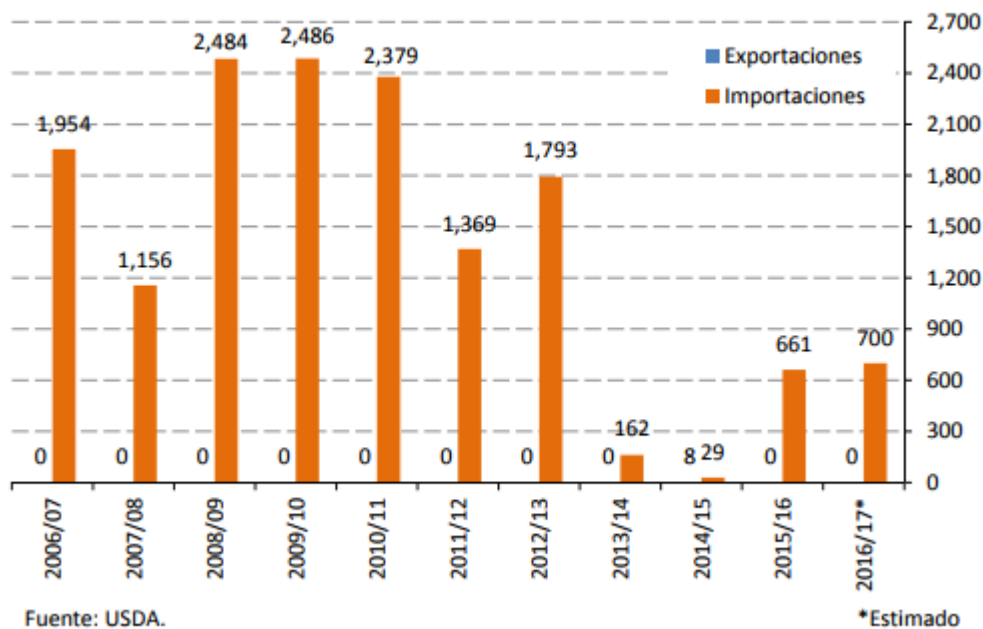
Al desagregar el consumo por tipo, es posible observar que durante los últimos años el principal uso del sorgo es el consumo pecuario, el cual se estima representaría el 96.1 del consumo total en 2016/17. (SIAPA-SAGARPA, 2016)



2.6.6 Intercambio comercial

La balanza comercial de sorgo en México, históricamente, ha sido deficitaria. Asimismo, a excepción del período 2014/15, las exportaciones de este producto han sido prácticamente nulas. Para el ciclo 2016/17 se espera que el saldo de la balanza se aproxime a 0.7 millones de toneladas, resultado de importaciones por la misma cantidad y exportaciones cercanas a cero. Las importaciones de sorgo en el ciclo 2015/16 muestran una recuperación importante, después de las 29,000 toneladas importadas en 2014/15, lo cual representó el mínimo volumen importado en los últimos cuarenta años. (USDA, 2016)

Balanza comercial de sorgo en México, 2006-2017
(Miles de toneladas)



2.6.7 Precios a nivel nacional

En relación al precio medio al productor, el sorgo presentó un precio promedio en septiembre de 2016 de 3,630.0 pesos por tonelada. Esto significó una variación positiva con respecto al precio vigente en el mismo mes del año anterior de 11.7 por ciento. El precio medio al mayoreo en centros de distribución del país presentó una cotización promedio en noviembre de 2016 de 3,986.3 pesos por tonelada. Esto significó un incremento 4.6 por ciento con respecto al precio de noviembre del año inmediato anterior. Durante 2015 y 2016 se observa una tendencia al alza en los precios nacionales del sorgo, que difiere de la tendencia bajista en el precio internacional de referencia. Lo anterior se podría atribuir, entre otros factores, al deslizamiento de la paridad peso-dólar.

El precio medio rural promedio del sorgo en México para el ciclo agrícola 2015 fue de 2,982 pesos por tonelada. Esto representó un aumento de alrededor del 25 por ciento en relación precio promedio del año agrícola precedente. Este aumento en el precio representó un cambio de tendencia con respecto a la observada en 2013 y 2014. Las entidades federativas que durante 2015

presentaron el mayor incremento en el precio medio rural del sorgo fueron Guanajuato, con un 55 por ciento; y Michoacán, con un 52 por ciento. Entre los factores que contribuyeron al alza en el precio medio rural durante 2015 destaca la reducción en la producción nacional como consecuencia de las afectaciones del pulgón amarillo en algunas regiones productoras (SIAP-SAGARPA, 2016).

2.7 Significado de la interacción genotipo ambiente

La interacción que se produce entre los genes y el ambiente da lugar a diversos efectos fenotípicos. Rodríguez-González et al. (2011); Lozano del Río et al. (2009) en su trabajo de investigación en cultivo de trigo dice que La mayoría de los procesos de selección de germoplasma para la liberación comercial de semillas involucran generalmente varias variables productivas, sin embargo, en México estos procesos solo han enfatizado en el rendimiento de grano. En la mecánica de estos procesos, las semillas son sometidas a pruebas ricas en nutrientes y ambientes muy específicos. Sin embargo, cuando las semillas son liberadas, estas se siembran bajo diferentes condiciones de manejo como densidad y fecha siembra, fertilización, control de plagas, tipos de suelo, pH, duración de horas luz (fotoperiodo), temperatura, etc. Esto hace que, al sembrarse en ambientes diferentes, su rendimiento varíe, lo cual se define como interacción genotipo x ambiente o estabilidad fenotípica. (Becker, 1981).

2.7.1 Metodologías o modelos para identificar genotipos con adaptabilidad y estabilidad de rendimiento

En los últimos años se han desarrollado nuevas metodologías multivariadas que permiten no solo describir la interacción genotipo-ambiente sino también profundizar en la naturaleza de la interacción, entre ellas destaca el modelo Additive Main Effects and Multiplicative Interaction (AMMI) por su gran capacidad para interpretar un gran número de genotipos en varios ambientes, este método es actualmente de los más usados ya que consideran a los genotipos y ambientes como efectos aditivos y lineales permitiendo su estudio por medio de un análisis de varianza (ANVA), mientras que la IG x A es de efectos multiplicativos que

pueden ser analizados por medio de componentes principales (Crossa *et al.*, 1990).

2.7.2 Modelo básico de análisis de la varianza para ensayos de genotipos en ambientes múltiples

Los modelos individual y combinado que explican el comportamiento de cualquier genotipo en los diferentes ambientes para un diseño en látice de acuerdo con Martínez (1988), son:

Modelo lineal individual:

$$y_{ip} = \mu + r_p + \beta_{l(p)} + \tau_i + \varepsilon_{ip} \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde: y_{ip} = valor del genotipo i en el bloque l en la repetición p ; μ = media general de todas las observaciones; r_p = efecto de la repetición p ; $\beta_{l(p)}$ = efecto del bloque l dentro de la repetición p ; τ_i = efecto del i -ésimo genotipo; ε_{ip} = error experimental.

Modelo lineal combinado:

$$y_{ijpl} = \mu + r_{p(j)} + \beta_{l(pj)} + \tau_i + \delta_j + (\tau\delta)_{ij} + \varepsilon_{ijpl} \quad (\text{Ec. 2})$$

Dónde: y_{ijpl} comportamiento medio del genotipo i en ambiente j en la repetición p en el bloque l ; μ = media general; $r_{p(j)}$ = efecto de la repetición p dentro del ambiente j ; $\beta_{l(pj)}$ = efecto del bloque l dentro de la repetición p en el ambiente j ; τ_i = efecto del i -ésimo genotipo; δ_j = efecto del j -ésimo ambiente; $(\tau\delta)_{ij}$ = efecto de la interacción (G \times A) del i -ésimo genotipo en el j -ésimo ambiente; ε_{ijpl} es el error aleatorio no observable que se asume homogéneo con distribuciones normales e independientes, o sea, NID (0, $1 \sigma^2$) (σ^2 = varianza del error aleatorio).

2.7.3 Modelo AMMI

El modelo AMMI se define como el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (Gauch, 2006; Glaz y Kang, 2008). El análisis AMMI se basa en la Ecuación (2), pero en el que el término de la interacción GxA se separa en componentes, de acuerdo con el siguiente modelo lineal:

$$y_{ijpl} = \mu + r_{p(j)} + \beta_{l(pj)} + \tau_i + \delta_j + \sum_{(n=1)}^t \lambda_n \alpha_{in} \gamma_{jn} + \varepsilon_{ijpl} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde los términos son los mismos de la Ecuación 2, pero la interacción G x A está dada por la suma de los términos multiplicativos $\sum_{(n=1)}^t \lambda_n \alpha_{in} \gamma_{jn}$. Los parámetros a ser estimados, aparte de la varianza del error aleatorio ($\sigma^2\varepsilon$), y los efectos principales del genotipo y ambientes, son los siguientes: λ_n es el parámetro de escala o valor singular del n -ésimo componente multiplicativo, cuyos valores ordenados en forma decreciente quedan $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_t$; α_{in} es el vector singular izquierdo del n -ésimo componente y representa sensibilidades de los genotipos a ciertos factores ambientales hipotéticos dados por el vector singular derecho, γ_{jn} del n -ésimo componente del ambiente asociados a λ_n . Los α_{in} y los γ_{jn} están sujetos a restricciones de normalización $\sum_i \alpha_{in}^2 = \sum_j \gamma_{jn}^2 = 1$ y a restricciones de ortogonalidad $\sum_i \alpha_{in} \alpha_{in'} = 0$, $\sum_j \gamma_{jn} \gamma_{jn'} = 0$ para $n \neq n'$ (Crossa; Cornelius, 2000).

Lozano del Rio *et al.* (2009) mencionan que el método AMMI les permitió clasificar de forma precisa los genotipos por la magnitud de su interacción con el ambiente, El modelo fue también eficiente en la caracterización de los genotipos, por lo consiguiente constituye una buena herramienta en el estudio de la interacción genotipo–ambiente en la evaluación de genotipos en ensayos en localidades múltiples. A través de esta se puede mejorar el proceso de selección y sumar eficacia experimental al poder formar grupos de ambientes de igual respuesta, así como grupos de ambientes que poco contribuyen a la interacción y a la discriminación de genotipos (Lozano et al, 2015).

2.7.4 Modelo de regresión en los sitios (SREG)

Del modelo AMMI es posible estimar el efecto de genotipos combinado con el efecto de la interacción (G + G × A), de tal forma de generar el modelo llamado de regresión en sitios (SREG). El componente G + G × A (GGA) puede ser considerado de diferentes formas, por ejemplo como un efecto fijo aditivo de genotipo anidado en ambiente, o como un efecto fijo pero con términos multiplicativos que es el que se expresa en la Ecuación 4. También puede ser considerado como un efecto aleatorio, lo que da lugar a diversas formas de modelar la estructura de covarianzas de GGA. Para el caso de efecto fijo multiplicativo, el modelo se expresa de la siguiente forma:

$$y_{ijpl} = \mu + r_{p(j)} + \beta_{l(pj)} + \delta_j + \sum_{n=1}^t \lambda_n \alpha_{in} \gamma_{jn} + \varepsilon_{ijpl} \quad (\text{Ec. 4})$$

Dónde: λ_n = valor singular para el componente; α_{in} = vectores propios asociados con los genotipos para cada componente principal; γ_{jn} = vectores propios asociados con los ambientes para cada componente. Al igual que el modelo AMMI, la interpretación del componente GGA se puede realizar a través del denominado "biplot" GGE (mismo que GGA, por sus siglas en inglés) (Yan *et al.*, 2000; Yan y Hunt, 2001).

2.8 Variables que influyen en el rendimiento de la producción de sorgo

2.8.1 Eficiencia de la fotosíntesis

La tasa fotosintética es un factor esencial en la producción de materia seca. Esta depende de las especies, e incluso de las variedades, así como del estado de desarrollo de la hoja. Igualmente es muy afectada por la nutrición mineral y el régimen de radiación solar durante el período de crecimiento (López, 1991). Por otro lado, la temperatura es uno de los factores físicos de mayor importancia que influye directamente en el crecimiento y longitud de la planta durante su ciclo vegetativo

La determinación del área foliar de las plantas, así como la duración de la misma, tienen gran importancia en los estudios relacionados con su crecimiento y desarrollo, dado que en las hojas se sintetizan los carbohidratos que van a repartirse entre los diferentes órganos (Cuellar; Arrieta, 2010). Esas condiciones permiten una mayor tasa de crecimiento vegetativo, más, de manera especial, influyen en la tasa de llenado de granos, que se refleja en el aumento de rendimiento del cultivo (Balardin, et al. 2001)

El maíz y (*Zea mays* L.) y sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) Son especies con un elevado potencial de rendimiento asociado con altos niveles de fotosíntesis. El comportamiento fotosintético de estos, difiere notablemente del resto de los cultivos templados. Todo ello es consecuencia de que son plantas C4, al ser el producto primario de la fijación del carbono ácido dicarboxílico, con una estructura de cuatro carbonos. Lo cual tiene importantes efectos ecológicos y agronómicos, entre ellos, la influencia de la temperatura y la intensidad luminosa, que son requeridas a altos niveles en estos cultivos (López 1991; Cuellar y Arrieta, 2010)

2.8.2 Requerimientos necesarios para el buen desarrollo del cultivo de sorgo.

Una especie con mayor área foliar implica un mejor aprovechamiento del área foliar y por ende una mayor tasa fotosintética, y en estadios más próximos a la cosecha, implican una mayor eficiencia en el cultivo y por ende un mayor rendimiento. Hernández & soto (2013). Dicen que el cultivo del maíz requiere de un rango aproximado de temperatura acumulada entre 1 000 a 1 6000C para completar el ciclo y el cultivo del sorgo demanda entre 1 200 y 1 8000C. A valores más elevados de eficiencia en el uso de la radiación y persistencia de área foliar, además de mayores acumulados de masa seca e IAF en estadios más próximos a la cosecha, implica una mayor eficiencia del cultivo y por ende, un mayor rendimiento.

Pérez y et al (2010) dice que La temperatura de 38°C merma los rendimientos por el aborto de sus flores; mientras que la de 27°C resulta ideal para el período reproductivo. Asimismo, 21°C representa la mínima para un buen crecimiento, y 18°C significa la óptima del suelo para su germinación.

Correa (2001) planteó que la temperatura está relacionada con la época de siembra, pues las altas temperaturas aumentan las pérdidas, por coincidir con su período reproductivo. Crece bien en suelos cuyo pH oscile entre 5,5 y 8,5; sin embargo, el pH ideal está entre 5,5 y 6,5. Soporta la sal y se plantea que las variedades azucaradas exigen la presencia de carbonato cálcico en el suelo, lo que aumenta el contenido en sacarosa de los tallos y las hojas. Prefiere suelos sanos, profundos, no demasiado pesados. No debe utilizarse como cultivo antecedente de los cereales de otoño.

El empleo del sorgo como cultivo ha mostrado su valor agregado a la naturaleza y a los suelos mediante el aporte de materia orgánica y la mejora de las condiciones hidrológicas y químicas. Es eficiente en el consumo hídrico y contribuye a evitar los riesgos de erosión; en las rotaciones de cultivo favorece el incremento productivo y el rendimiento de las áreas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área del área del experimento

El primer experimento se llevó a cabo en la localidad Roque del municipio de Celaya, Guanajuato, México.

CELAYA- ROQUE, GUANAJUATO

El municipio está situado a los 101° 48' 55'' de longitud oeste del meridiano de Greenwich y a los 20° 31' 24'' de latitud norte, su altura sobre el nivel del mar es de mil 752 m limita al norte con el municipio de Comonfort, al este con los de Apaseo el grande y Apaseo, al sur con el de Tarimoro, al oeste con los de Cortázar y Villagrán y al noroeste con el de santa cruz de Juventino rosas.

La temperatura máxima es de 25.5°C y la mínima es de 16°C, la media anual es de 20.85°C, su clima oscila entre semiseco y semicálido, con una precipitación pluvial promedio de 575.3 mm anuales.

Flora

El municipio se encuentra ubicado en el reino Neotropical en la región Xerofítica mexicana y en las provincias denominadas como Mesa Central y Eje Neovolcánico.

Fauna

México es un país que se distingue también por poseer una elevada proporción de especies exclusivamente dentro de su territorio (especies endémicas); más del 17% de especies de vertebrados son endémicas; la herpetofauna se

distingue con el 60% de los anfibios y el 52% de los reptiles (Flores y Gerez, 1994)

El estado de Guanajuato ocupa el 28º lugar en cuanto a riqueza de vertebrados endémicos mesoamericanos y el 25º lugar con respecto a endémicos estatales (Flores Villela y Gerez, 1994)

En cuanto a los mamíferos se tiene el 51.6%, 38.46% de reptiles, el 25% de anfibios, 19.18 de artrópodos y 22% de peces.

Para tener un mejor entendimiento de la fauna de la región se dividió en las siguientes categorías: Fauna doméstica, Fauna nociva, Fauna silvestre original Fauna silvestre que se ha adaptado a las condiciones humanas y subsisten a pesar de los cambios en su hábitat natural, tal es el caso de aves (gorriones, palomas), mamíferos y algunos reptiles (lagartijas), pero poniendo mayor énfasis en la fauna silvestre, por ser esta la de mayor valor ecológico.

Recursos naturales

Las tierras de cultivo agrícola y pastos para la cría de ganado.

Características y usos del suelo

Las características de altitud, pendientes y profundidad del suelo en el territorio que corresponde a Celaya la definen como la región del "Bajío Guanajuatense", El suelo que predomina en el municipio es el Vertisol Pélico el cual cubre la planicie con capas de arcilla limosa que tiene como característica que es apto para la agricultura y la ganadería.

La mayor parte del municipio lo forma el denominado Valle de Celaya, cuyo origen tectónico es producto de las fallas que originaron Norte y Gravens, rellenas de material aluvial, presenta suelos ígneos color gris oscuro de consistencia firme y con textura arcillosa-limosa y arcillosa-arenosa, dando lugar a suelos de alta permeabilidad.

Las rocas expuestas en el área corresponden a un periodo que abarca del Cenozoico al Cenozoico. Este último está formado por rocas de edad terciaria y cuaternaria, las primeras representadas por andesita, toba andesítica, riolita, toba ácida, asociaciones de arenisca-conglomerado, arenisca-toba ácida, arenisca limolita y caliza-lutita.

En la zona sur, existen además toba-piroclástica de composición básica, basalto y brecha volcánica basáltica, producto de la actividad efusiva de los aparatos volcánicos del Culiacán y la Gavia

SAN JUAN DEL RIO-ESTANCIA, QUERÉTARO

El Municipio de San Juan del Río se localiza al Sureste de la entidad en las coordenadas 20°12" y 20°34" de latitud Norte y de 99°49" y 100° 12" de longitud Oeste, con una altitud sobre el nivel del mar de 1920 metros y a una distancia de 51 kilómetros de la Capital del estado.

Está delimitado políticamente por los Estados de México e Hidalgo en el Este; por el municipio de Amealco de Bonfil al Sur; por los municipios de Pedro Escobedo y Amealco de Bonfil al Oeste y por los municipios de Pedro Escobedo y Tequisquiapan al Norte.

Hidrografía

Las corrientes superficiales más importantes del municipio son los ríos de San Juan, Culebra y el Prieto; además se tiene la presencia de arroyos perennes como El Caracol, Cocheros, Ciprés, La Culebra, Hondo, Dosocuá, Hierbabuena y Viborillas, entre otros.

Clima

El clima es sub-húmedo con lluvias en verano, teniendo una temperatura promedio de 16.5° centígrados y una precipitación pluvial anual promedio de 572 milímetros.

Flora

Una inmensa variedad de especies vegetales crece en el territorio del municipio, tales como: el mezquital, pastizal y matorral.

Fauna

Aún se conservan algunas aves como la paloma, huilota y tórtola; mamíferos como el zorrillo, tlalcoyote, comadreja y mapache, y reptiles como: víbora de cascabel y coralillo.

Recursos naturales

El municipio cuenta con yacimientos de cantera en las comunidades de Galindo y San Sebastián, las cuales sirven de materia prima para que los artesanos realicen su trabajo. Otro de los recursos naturales -fuente de empleo importante en este municipio- son las minas de arena que existen en San Miguel Galindo, Palmillas y Palma de Romero, con una producción importante para el municipio.

Características y uso de suelo

San Juan del Río cuenta con tierras muy fértiles y abundante agua en el subsuelo; se dice que es una gran bóveda pues donde se escarbe se encuentra el agua. Las tierras son de alto potencial agrícola en la parte Oriente de la ciudad, en lo que se conoce como el Plan de San Juan, tierras negras de mucho migajón propias para la siembra y para recoger abundantes cosechas. Hay también tierras delgadas donde son menores las cosechas. En el Oriente y Sur del municipio abundan las tierras calizas, tepetatosas y pedregosas que son de temporal

3.2 Labores culturales

Preparación del terreno

La preparación del terreno es muy importante debido a que influye demasiado para que las semillas tengan una buena germinación, en el experimento se realizaron las siguientes labores culturales del suelo:

Barbecho

Esta actividad se realizó cuando el suelo tenía suficiente humedad, se aflojó el suelo a una profundidad de 25-30 cm, esto permitió incorporar los residuos del cultivo anterior para aprovecharlo como materia orgánica, tener una mejor infiltración del agua y mejor aireación del suelo.

Rastreo

Esta actividad se llevó a cabo con la finalidad de romper terrones grandes que no se desmoronaron con el barbecho; esto ayudara a que las semillas tengan un mejor porcentaje de germinación, y se desarrollen uniformemente.

Surcado de la parcela experimental

Cada unidad experimental consistió de dos surcos de 5 m de largo en ambas localidades con una distancia de 0.80 m entre surcos.

Siembra

En la Estancia el cultivo se sembró el 18 de marzo del 2015 y en Roque, Gto el 20 de marzo del 2015.

Fertilización

La dosis de fertilización utilizada fue 160-80-00, se aplicó el 50% al momento de la siembra y la otra mitad antes de la etapa de floración.

Riegos

Se aplicó un riego de nacencia y 4 riegos de auxilio de 15-20 días de intervalo.

Control de malezas

Para controlar las malezas que evitan el buen desarrollo del cultivo se aplicó el herbicida ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D).

3.3. Variables evaluadas

El experimento establecido en la localidad Roque, Celaya, Guanajuato, consto de una parcela útil de 3 m , y para la localidad Estancia, Querétaro, se tomó 1.5 m. y en cada una de estas se midieron las siguientes variables:

Días a floración: este dato se comenzó a tomar cuando el 50% de las plantas ya estaban en la etapa de floración.

Altura de planta:

En cada parcela experimental se tomaron 10 plantas al azar y se midió la altura de cada una de ellas desde la base del suelo hasta la punta (ápice) de la panoja y se expresó en cm.

Longitud de panoja:

En 10 plantas tomadas al azar de cada parcela útil, se midió la distancia que existe entre la base de la panoja y la punta de la misma y se expresó en cm.

Rendimiento:

Se pesó el grano de cada una de las parcelas útiles tanto en Roque, Guanajuato de 3 m de largo, com en la Estancia, Querétaro, dichas parcela útiles fueron de 3 y 1.5 m, respectivamente, y dicha variable se expresó expreso en gramos (g). para expresar el rendimiento de cada uno de los híbridos en kg/ ha se usó el siguiente factor de corrección:

FC= 10000/ Peso de parcela útil.

El resultado de esta fracción se dividió entre 1000 para expresarlo en kg/ha

3.4 Diseño experimental

Para el experimento se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con 3 repeticiones por tratamiento, la parcela útil consistió de 3 metros lineales para la localidad de Roque, Guanajuato y 1.5 metros lineales para la localidad de la Estancia, Querétaro. La parcela útil se tomó de los centros de los surcos establecidos.

Modelo estadístico de bloques al azar

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varphi_{ij}$$

Dónde:

μ = media general

τ_i = efecto del i-ésimo tratamiento

β_j = efecto del j-ésimo bloque

φ_{ij} = error experimental en la unidad j del tratamiento i

Análisis de varianza de bloques al azar.

F.V.	g.l.	SS	CM	F	E(CM)
trat's	$t - 1$	$b \sum_{i=1}^t (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..})^2$	$SS_{trat}/(t - 1)$	$\frac{CM_{trat}}{CM_E}$	$\sigma^2 + b \sum_{i=1}^t \frac{\tau_i^2}{t-1}$
bloques	$b - 1$	$t \sum_{j=1}^b (\bar{y}_{.j} - \bar{y}_{..})^2$	$SS_{bloques}/(b - 1)$		
error	$(t - 1)(b - 1)$	$\sum \sum (y_{ij} - \bar{y}_{i.} - \bar{y}_{.j} + \bar{y}_{..})^2$	$SS_E/(t - 1)(b - 1)$		σ^2
total	$bt - 1$	$\sum_i \sum_j (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2$			

Si $FC > FC$ se rechaza la $H_0: T1=T2$

Coeficiente de variación

Formula:
$$C.V. = \frac{S}{\bar{X}} * 100$$

Dónde:

C.V= coeficiente de variación

S: Desviación estándar

\bar{X} := media general

Comparación de medias

Para la comparación de medias los datos se corrieron en SAS y se utilizó la prueba de Tukey.

Para estudiar los efectos que tuvo el ambiente sobre el genotipo de los 56 híbridos de sorgo evaluados en las dos localidades se realizó un análisis de varianza de bloques al azar combinado.

Formula:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + A_j + GA_{ij} + B_{jk} + E_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} =valor observado del i-ésimo genotipo de la j-ésimo ambiente en la k-ésima repetición

μ = efecto de la media general

G_i = efecto del i-ésimo genotipo

A_j =efecto del j-ésimo ambiente

GA_{ij} = efecto de la interacción entre el i -ésimo genotipo con el j -ésimo ambiente

B_{jk} = efecto de la k -ésima repetición anidada en el j -ésimo ambiente

E_{ijk} = error experimental.

Forma del análisis de varianza combinado de bloques al azar.

FV	G.L	C.M
Ambientes	$l-1$	M5
Reps/Ambientes	$(r-1)l$	M4
Genotipos	$t-1$	M3
G x A	$(r-1)(t-1)$	M2
Error	$(r-t)(l-1)$	M1
Total	$rtl-1$	

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En este apartado se presentan los resultados de investigación de las dos localidades de prueba en la cual se evaluaron 56 híbridos experimentales en el 2015.

En la Tabla 1 se presentan los resultados de los cuadrados medios para las variables días a floración, altura de planta, tamaño de panoja y rendimiento de grano de los híbridos evaluados en la localidad de Roque Guanajuato. Al analizarlos se obtuvieron los siguientes resultados:

En el análisis de varianza para las variables antes mencionadas, se puede ver que hubo una significancia muy alta al $P \leq 0.01$ para la fuente de variación de híbridos lo cual indica que hay diferente respuesta genética así como capacidad para responder al microambiente (profundidad de siembra, humedad, luz, nutrientes, entre otros). Por lo tanto, para todas las variables se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternante.

Todos los híbridos fueron evaluados en un mismo ambiente por lo que las diferencias altamente significativas que existe entre los híbridos se debe más a la capacidad que tienen los genotipos para adaptarse en el ambiente que se determinó y la resistencia a factores bióticos como plagas y enfermedades.

El coeficiente de variación para las variables DF, AP, TP Y REND fueron 3.57%, 7.52%, 10.63% y 19.75% lo cual indica que los datos son confiables.

Las diferencias altamente significativas en la variable floración puede ser efecto a la capacidad de adaptación de los genotipos de los híbridos.

Laffte (2017) reporta que las temperaturas fuera de rango de la adaptación afectan la fotosíntesis, la floración, el llenado de granos y otros aspectos de metabolismo en los cultivos como el maíz, de ahí la variación observada en días en tal estudió.

Olmos (1989) hace mención que la altura de planta es muy importante en el cultivo de sorgo para grano y forraje por lo tanto se debe tomar en cuenta según el uso que se vaya a dar, para producción de grano se recomienda plantas de porte intermedio o bajo debido a que con ello se puede aumentar la densidad de siembra y por ende el rendimiento y las plantas de porte alto producen mayor cantidad de forraje.

Velázquez (2010); monterrey (1997) hacen mención de que una longitud de panoja es una característica muy deseable en variedades de sorgo por lo que llevaría a obtener producciones altas, ya que panojas de mayor tamaño tienen mayor número de espiguillas y de granos lo que aumenta el rendimiento.

Galván (2004) comenta que la gran variación en el rendimiento en híbridos de sorgo se debe principalmente al potencial genético cuando estos son evaluados en un mismo ambiente por lo que no puede atribuirse un mal rendimiento a efectos del mismo. Buenos genotipos dan rendimientos altos y malos genotipos dan bajos rendimientos.

Tabla 1. Cuadrados medios del análisis de varianza individual para 56 híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) evaluados en la localidad de Roque, Celaya, Guanajuato evaluados en 2015.

Fuentes de variación	GL	DF	AP	TP	REND
Híbridos	55	31.062771**	1161.64675**	45.99**	13.33**
Repetición	2	24.36 NS	672.22**	1.88 NS	6.06 NS
Error	110	9.72	78447.90	6.28	4.53
Total	167				
C.V		3.57%	7.52%	10.63%	19.77%
Media		87.13	145.69	23.58	10.76

** , Son altamente significativos $P \leq 0.01$; NS= No significativo; GL=grados de libertad; DF= días a floración (días); AP= altura de plantas (cm); TP=tamaño de panoja (cm); REND= rendimiento (ton/ha).

Comparación de medias de las variables bajo estudio

En la Tabla 2 se puede observar el comportamiento de los híbridos para cada una de las variables, para el caso de DF los híbridos que fueron superiores a este valor son el 48 (94.33), 37(93.66), 35(93.33), 31(93.33) y el híbrido 29 (92.66) y los menores 23 (82.33), 21(82), 4(82), 7(82) y el 56(82) lo que indica que estos fueron los más precoces, siendo del orden de 87 días para la variable en cuestión.

Por lo que respecta para altura de planta los híbridos que superaron a la media (145.69 cm) fueron el 22(210), 23(203.33), 50(200), 25(193.33) y 3(181); los que fueron inferiores a la media fueron el 40(127.33), 19(124), 16(123.667), 5(120.667) y el 43(120.667).

Para el variable tamaño de panoja los híbridos que superaron a la media fueron el 30(26.33), 29(25.667), 39(25.33), 42(25.00) y 46(25.00), éstos híbridos fueron los que tuvieron la panoja más grande; los inferiores a la media y por lo tanto con la panoja más pequeña fueron el 20(19.33), 27(19.00), 8 (19.00), 17(18.33) y 18(17.667), teniendo una media general de 23.58 cm.

En relación a los híbridos que superaron la media general (10.76 ton/ha) en la variable rendimiento de grano, fueron el 28(14.701), 52(14.215), 41(14.076), 37(13.660) y el 26(13.382), estos fueron los híbridos con los rendimientos más altos; los que obtuvieron menor rendimiento y por lo tanto fueron inferiores a la media fueron el 21(7.896), 27(7.757), 51(7.548), 24(7.410) y 23(3.025), éstos 5 híbridos fueron los de menor rendimiento.

Tabla 2. Variables de respuesta de los híbridos que fueron superiores e inferiores a la media general en la localidad de Roque, Guanajuato evaluados en el año 2015.

SUPERIORES								
NUM	HIBRIDO	DF	HIBRIDO	AP	HIBRIDO	TP	HIBRIDO	REND
1	48	94.33	22	210	30	26.33	28	14.7
2	37	93.66	23	203.33	29	25.66	52	14.21
3	35	93.33	50	200	39	25.33	41	14.07
4	31	93.33	25	193.33	42	25	37	13.66
5	29	92.66	3	181	46	25	26	13.38
INFERIORES								
NUM	HIBRIDO	DF	HIBRIDO	AP	HIBRIDO	TP	HIBRIDO	REND
1	23	82.33	40	127.33	20	19.33	21	7.89
2	21	82	19	124	27	19	27	7.75
3	4	82	16	123.66	8	19	51	7.54
4	7	82	5	120.66	17	18.33	24	7.41
5	56	82	43	120.66	18	17.66	23	3.025

DF= días a floración (días); AP= altura de plantas (cm); TP=tamaño de panoja (cm); REND= rendimiento (ton/ha).

En la Tabla 3 se muestran los cuadrados medios de las variables evaluadas para los híbridos establecidos en la localidad de La Estancia, Querétaro, y se puede observar que hubo diferencias altamente significativas al $P \leq 0.01$ entre los híbridos para todas las variables en responder al ambiente, de tal manera también nos indica diferencia genética entre ellos por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternante.

Como se mencionó anteriormente los híbridos tuvieron una diferencia altamente significativa por lo que existe una gran diferencia de potencial genético para adaptarse al ambiente que se utilizó. La floración, altura de planta, el tamaño de panoja y rendimiento de grano, son importantes en caracterizar los patrones heteróticos de los híbridos.

Los coeficientes de variación para las variables DF, AP, TP Y REND fueron 3.22%, 3.81 %, 10.13 % y 19.77% lo cual indica que los datos son confiables.

Hammer et al. (1989) menciona que los híbridos tienden a responder como su progenitor más precoz por lo que en sorgos para clima templado éste gen tiene un cierto grado de dominancia.

Castañón (1986) menciona lo importante que es la altura de planta, y hay que tomarla muy en cuenta según los fines que el productor tenga para éste, ya que si la planta es alta puede ser utilizado el grano y el forraje para alimento de ganado y si se requiere solo para producción de grano, se pueden utilizar materiales con productivos y de altura intermedia o baja.

Castañeda (2015) en su trabajo de comportamiento de 6 híbridos en la localidad de General Cepeda, observó diferencias altamente significativas para la variable tamaño de panoja y rendimiento de grano, además obtuvo un $CV=4.4$ y 8.3% lo que nos lleva a pensar que la el tamaño de panoja y rendimiento siempre va a tener relación con los genotipos de los híbridos y no tanto por los factores abióticos.

Tabla 3. Cuadrados medios de análisis de varianza individual para 56 híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) evaluados en la localidad La Estancia, San Juan del Río, Guanajuato evaluados en el año 2015.

Fuentes de variación	GL	DF	AP	TP.	REND
Híbridos	55	85**	429.7**	35.70**	13.52**
Repetición	2	3.375 NS	1.611NS	1.78 NS	0.15 NS
Error	110	9.19	18.29	5.476	2.22
Total	167				
C.V		3.22	3.81	10.13%	19.75%
Media		93.46	112.25	23.08	7.54

** , Son altamente significativos $P \leq 0.01$; NS= No significativo; GL=grados de libertad; DF= días a floración (días); AP= altura de plantas (cm); TP=tamaño de panoja (cm); REND= rendimiento (ton/ha).

Comparación de medias de las variables en estudio

El comportamiento de medias de los híbridos evaluados en La Estancia pueden ser vistos en la Tabla 4 y donde se aprecia que para días a floración los híbridos que fueron superiores a este valor son el 15(107.667), 22(105), 17(103.667), 12(102) y el 19(102) y los menores fueron el 39(88), 11(87.667), 25(86.667), 13(86.667) y 38(86.333) lo que indica que éstos fueron los más precoces. La media general que se obtuvo para esta variable fue de 93 días.

En altura de planta los híbridos que superaron a la media general (112.25 cm) obtenida fueron los híbridos 16(139), 40(134.5), 55(133), 56(132) y 14(127.5); los que fueron inferiores a la media fueron el 24(95), 19(93.5), 12(87.5), 22(86) y 18(83.5) respectivamente por lo tanto estas últimas fueron las más pequeñas.

Para el variable tamaño de panoja los híbridos que superaron a la media (23.08 cm) fueron el 49(30), 53(30), 54(29.5), 40(27.5) y 35(27.5) éstos híbridos fueron los que tuvieron la panoja más grande; los inferiores a la media y por lo tanto con la panoja más pequeña fueron el 51(18.5), 8(18), 26(17.5), 18(16.5) y el 22(16.5).

Finalmente, los híbridos que superaron la media general de rendimiento de grano (7.54 ton/ha) fueron el 16(12.237), 14(11.020), 5(11.016), 17(10.316) y 10(10.3), Estos fueron los híbridos con los rendimientos más altos; los que obtuvieron menor rendimiento y por lo tanto fueron inferiores a la media fueron el 22 (4.15), 34(4.096), 41(3.85), 20(3.75), y el 18(3.48)éstos 5 híbridos fueron los de menor rendimiento.

Tabla 4. Variables de respuesta de los híbridos que fueron superiores e inferiores a la media general en la localidad de la Estancia, Querétaro evaluados en el año 2015.

SUPERIORES							
HIBRIDO	DF	HIBRIDO	AP	HIBRIDO	TP	HIBRIDO	REND
15	107.667	16	139	49	30	16	12.23
22	105	40	134.5	53	30	14	11.02
17	103.667	55	133	54	29.5	5	11.01
12	102	56	132	40	27.5	17	10.31
19	102	14	127	35	27.5	10	10.3
INFERIORES							
HIBRIDO	DF	HIBRIDO	AP	HIBRIDO	TP	HIBRIDO	REND
39	88	24	95	51	18.5	22	4.15
11	87.66	19	93.5	8	18	34	4.09
25	86.66	12	87.5	26	17.5	41	3.85
13	86.66	22	86	18	16.5	20	3.75
38	86.33	18	83.5	22	16.5	18	3.48

DF= días a floración (días); AP= altura de plantas (cm); TP=tamaño de panoja (cm); REND= rendimiento (ton/ha).

En la Tabla 5 se concentran los resultados de los cuadrados medios del análisis de varianza cambiando para las dos localidades de Roque, Guanajuato y La Estancia, Querétaro; se observa que existen diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para ambientes en todas las variables excepto tamaño de panoja; en este sentido días a floración, altura de planta y rendimiento de grano ambientes juega un papel importante en la expresión fenotípica de estos caracteres (contribuyendo con 31.52 %, 47%, 36.86% de la variación total, respectivamente). Para la fuente de variación híbridos se encontraron diferencias altamente significativas todas las variables, por lo tanto se puede deducir que los híbridos tuvieron un comportamiento de mucha variabilidad entre ellos por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa. Cortes (2012) al evaluar 46 híbridos de sorgo escobero en 3 ambientes, encontró que las variables (longitud total, longitud de fibra, longitud de pedúnculo) mostraron diferencias altamente significativas por lo tanto indica una gran variabilidad genética entre los híbridos evaluados por lo tanto los genotipos se ven influenciados por el ambiente.

Por lo que respecta la fuente de variación híbridos x ambientes se observó que existen diferencias altamente significativas en todas las variables estudiadas, lo que nos muestra que los híbridos evaluados tuvieron un comportamiento diferencial en los diversos ambientes. La presencia de la interacción GXE es indicada cuando la expresión fenotípica de un genotipo podría ser superior a otro genotipo en un ambiente pero inferior en un ambiente diferente (Falconer y Mackay, 1996).

Armendáriz (2000) en su trabajo de prueba de adaptación de 30 híbridos de sorgo en tres ambientes, para la fuente de variación ambiente observó que la variable días a floración, y altura de planta tenían diferencias significativas por lo que coincide en que estas variables se expresan de diferente manera en los ambientes evaluados. Pero para la variable rendimiento encontró que no existían diferencias significativas por lo que dice que la variable rendimiento no se ve afectada por la influencia de los ambientes. El coeficiente de variación en dicho trabajo de investigación para las variables días a floración, altura de planta y rendimiento, fueron de 21.46% 19.16% y 27.90%, respectivamente.

El coeficiente de variación para las 9.39%, 6.45%, 10.39%, 20.07% lo cual indica que los datos son confiables.

Tabla 5. Cuadrados medios del análisis de varianza de 56 híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) evaluados en dos ambientes (localidades); Roque, Guanajuato y La Estancia, Querétaro evaluados en 2015.

Fuentes de variación	GL	DF	AP	TP.	REND
Ambiente(A)	1	3922.33**	93884.14**	20.5 NS	869.75**
Reps/Ambiente	4	13.86NS	336.91**	1.83 NS	3.11 NS
Híbridos	55	45.9**	573.44**	50.34**	15.04**
Híbridos x A	55	70.15**	1017.91**	31.35**	11.81**
Error	110	9.46	69.2	5.88**	3.37
Total	167				
C.V		9.39%	6.45%	10.39%	20.07%
Media general		90.54	128.97	23.33	9.157
Media roque		87.13	145.69	23.58	10.76
Media estancia		93.96	112.25	23.08	7.548

** , Son altamente significativos $P \leq 0.01$; NS= No significativo; GL=grados de libertad; DF= días a floración (días); AP= altura de plantas (cm); TP=tamaño de panoja (cm); REND= rendimiento (ton/ha).

Comparación de medias de las variables en estudio

En la Tabla 6 se muestran los híbridos que fueron superiores a la media general (90 días) en la variable de días a floración los fueron superiores a este valor son el 15(96.167), 17(96), 35(96), 32(96.66) y el 22(96.167) y los menores fueron el 46(87), 25(87), 13(86.33), 56(86.167) y 4(85) lo que indica que éstos fueron los más precoces. Lobo (1994) en su trabajo efecto del ambiente en sincronización floral en parentales de dos híbridos de sorgo encontró que aparentemente el acortamiento en la duración del día a medida que las fechas de siembra progresaron en el año no redujo el número de días a floración como hubiera pasado si hubiera existido una respuesta al fotoperiodo.

Por lo que respecta altura de planta los híbridos que superaron a la media obtenida (128.97 cm) fueron el híbrido 25(156.67), 23 (154.16), 50 (152), 22(148) y 3(145.5); los que fueron inferiores a la media fueron el 33 (115.75), 5 (115.33), 24 (115.33), 18 (111.75) y 19 (108.75) respectivamente, por lo tanto estas últimas fueron las más pequeñas. Cuadra (1998) hace referencia a que la altura de planta es una variable muy importante porque nos ayuda a determinar la velocidad de la planta y que ésta se ve influenciada por el ambiente entre estos factores esta la temperatura, humedad relativa, cantidad y calidad de luz.

Para el variable tamaño de panoja los híbridos que superaron a la media general (23.33 cm) fueron el 49 (28.83), 40 (28.75), 35 (27.91), 44(27.58) y 47 (27.58) éstos híbridos fueron los que tuvieron la panoja más grande; los inferiores a la media y por lo tanto con la panoja más pequeña fueron el 19(19.16), 22(18.91), 27(18.75), 8(18.5) y el 18(17.083). Monterrey (1997) menciona que el tamaño de panoja es una variable que está ligado tanto a los factores genéticos, como ambientales.

Como último los híbridos que superaron la media en la variable rendimiento de grano (9.157 ton/ha) fueron el 37(11.65), 31 (11.43), 17(11.36), 5(11.15) y 13(11.13) éstos fueron los híbridos con los rendimientos más altos; los que

obtuvieron menor rendimiento y por lo tanto fueron inferiores a la media fueron el 24 (6.68), 20 (6.62), 22 (6.51) 51 (5.94) y 23 (4.3) éstos 5 híbridos fueron los de menor rendimiento. Rosenow et al. (1997); Ludlow y Muchow (1990); Ludlow et al. (1990); Sankarapandian et al. (1993); Castro et al. (2000); Sharp (1994) mencionan que, aunque el cultivo de sorgo es resistente a sequías el rendimiento se reduce cuando la sequía es severa, mencionan que en el cultivo de sorgo se han encontrado efectos positivos y negativos de la sequía sobre la producción de biomasa y el rendimiento de grano. Cuando la sequía se presenta durante la etapa vegetativa, se presentan efectos positivos, tales como altos niveles de ajuste osmótico mayor producción de biomasa a la antesis y, como consecuencia, un mayor rendimiento de grano.

Jamieson et al. (1995); Boonjung y Fukai (1996); Blum et al. (1989); Lilley y Fukai, (1994); Fisher y Turner, (1978); Yang et al. (2000); Manjarrez (1986) por otro lado encontraron que los efectos negativos en el rendimiento del grano dependen de la etapa en que éste ocurra, de su duración y severidad, el estrés hídrico durante la floración y el periodo de llenado de grano afecta en gran medida al rendimiento, el cultivo de sorgo es más susceptible a la sequía durante las etapas de formación de panícula y llenado de grano

Tabla 6. Variables de respuesta de los híbridos que fueron superiores e inferiores a la media general del análisis combinado de los dos ambientes de prueba en el 2015.

SUPERIORES								
NUM	HIBRIDO	DF	HIBRIDO	AP	HIBRIDO	TP	HIBRIDO	REND
1	15	96.167	25	156.67	49	28.83	37	11.65
2	17	96	23	154.167	40	28.75	31	11.43
3	35	96	50	152	35	27.91	17	11.36
4	32	95.667	22	148	44	27.58	5	11.15
5	22	95.167	3	145.5	47	27.58	13	11.13
Media general		90.54		128.97		23.33		
INFERIORES								
NUM	HIBRIDO	DF	HIBRIDO	AP	HIBRIDO	TP	HIBRIDO	REND
1	46	87	33	115.75	19	19.16	24	6.68
2	25	87	5	115.33	22	18.91	20	6.62
3	13	86.33	24	115.33	27	18.75	22	6.51
4	56	86.167	18	111.75	8	18.5	51	5.94
5	4	85.33	19	108.75	18	17.083	23	4.3

DF= días a floración (días); AP= altura de plantas (cm); TP=tamaño de panoja (cm); REND= rendimiento (ton/ha)

V. CONCLUSIONES

1.- Se encontró diferencias altamente significativas en las variables para cada toda la fuente de variación en las dos localidades, lo mismo sucedió al evaluarlas con un análisis combinado, lo que nos indica que los híbridos evaluados cuentan con diferente potencial genético y que el efecto del ambiente influye para la expresión del potencial de cada una de las variables. Para las variables días a floración, altura de planta y rendimiento de grano el ambiente tuvo una influencia marcada en los fenotipos ya que éste influyo un 31.52 %, 47%, 36.86%, respectivamente

2.- Para ambas localidades, según la media el híbrido que resulto ser más tardío fue el 15; mayor altura el 25; tamaño de panoja el 49; y en rendimiento de grano el más alto lo obtuvo el híbrido 37. El que resulto más precoz fue el 4; menor altura, el 19; menor tamaño de panoja el 18; y el que rindió menos fue el 23.

3.- En la localidad de Roque se vio una influencia positiva en lo que respecta al ambiente para las variables AP, TP, Y REND. Cabe destacar que para La Estancia se observó un comportamiento de híbridos más tardíos.

4.-Del combinado se resalta que los híbridos más rendidores fueron los más tardíos, además mostraron medias de respuesta para las variables tamaño de panoja y altura de planta por arriba de la media general.

VI. LITERATURA CITADA

- Acuero, R. 1983. Utilización del grano de sorgo como fuente energética en raciones para cerdos en crecimiento y engorde. *Zootecnia Tropical*. 1:54.
- Arias, V.A. 2004 Comportamiento de dos variedades de sorgo asociados con soya. *Centro Agrícola*. 31 (3-4):48.
- Argenti, P. & Espinosa, F. 2000. Alimentación alternativa para cerdos. Maracay. Disponible: <http://www.Fonaiap.gov.ve/publica/divulga/fdG1/alimen.html>. Consulta: 20/01/2018.
- Armendáriz D. R, A. 2000. Prueba de adaptación de 30 híbridos de sorgo forrajero (*Sorghum vulgare*) en tres ambientes. Requisito para obtener el título de Ingeniero Agrónomo en Agrobiología. Pág. 42-43. UAAAN, Saltillo, Coahuila
- Balardin, R. S.; Giordani, R. F. y Boligon, E. Tolerancia de cultivares às doenças foliares na cultura da soja. *Fitopatología brasileira*, 2001, vol. 26, p. 419-420.
- Becker, H.C. 1981. Correlations among some statistical measures of phenotype stability. *Euphytica*. 30:835-840.
- Boonjun, H. y S. Fukai (1996). Effects of soil water deficit at different growth stages on rice growth and yield under upland conditions. 2. Phenology, biomass production and yield. *Field Crops Research* 48: 47-55.

- Blum, A., J. Mayer y G. Golan (1989). Agronomic and physiological assessments of genotypic variation for drought resistance in sorghum. *Australian Journal of Agricultural Research* 40: 49-61.
- Castañeda B. J, L. 2015. Comportamiento agronómico de 6 híbridos experimentales de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) en general cepeda. Requisito para obtener el título de Ingeniero Agrónomo en Producción. Pág., 20-30. UAAAN, Saltillo, Coahuila.
- Castañón, M. Ma. D.1986. Estudio de correlaciones fenotípicas y parámetros de estabilidad de 10 materiales de Sorgo para grano. Tesis de Licenciatura. Division de Agronomía. Universidad Autónoma agraria Antonio Narro. Buena Vista, Saltillo, Coahuila, México.
- Castro, N.J. *et al.* 2000. Producción de biomasa en línea de sorgo con respuesta al estrés hídrico. *Rev. Fitotec. Mex.* 23:321.
- Castro N., S., J. Ortiz C., M.C. Mendoza y F. Zavala G. (2000). Producción de biomasa en líneas de sorgo como respuesta al estrés hídrico. *Revista Fitotécnica Mexicana* 23: 321-334.
- Crossa J., H. G. Gauch and R. W. Zobel (1990) Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Science* 30:493-500.
- Crossa J., J. Burgueño, P. L. Cornelius, G. McLaren and R. Trethowan. 2006. Modeling genotype x environment interaction using additive genetic covariances of relatives for predicting breeding values of wheat genotypes. *Crop Science* 46:1722-1733.

- Cortez Q, H, E.2012. Evaluación de la interacción genotipo ambiente de 46 híbridos de sorgo escobero en las localidades de Zaragoza y General Cepeda, Coahuila.
- Cuéllar, N.D., y JM. Arrieta. 2010. Evaluación de respuestas fisiológicas de la planta arbórea *Hibiscus rosasinensis* L. (Cayeno) en condiciones de campo y vivero. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.* vol. 11(1). P. 61-72.
- Doggett, H.1998. *Sorghum*. 2nd edition. Longman Scientific and Technical, London. Pag.512.
- Duke, j. 1983. *Sorghum x alnum* Parodi. Handbook of energy crops. Disponible:http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke-energy/Sorghum-X_almum.html Consulta: 17/01/2018
- El sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) en la alimentación humana. Disponible en: https://www.botanical-online.com/sorgo_alimento.htm. Consultado: 08/03/2018.
- Falconer, D. S. and T.F.C .Mackay. 1996. Introduction to Quantitative Genetics. 4th edition, Longman, New York, P.132-133.
- Fisher, R.A. y N.C. Turner (1978). Plant productivity in the arid and semiarid zones. *Annual Review of Plant Physiology* 29: 277-317.
- Galván B., H. 2004. Evaluación de híbridos experimentales de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) en la región del bajío. Requisito para obtener el título de Ingeniero Agrónomo en Producción. Pág., 28-29. UAAAN, Saltillo, Coahuila.

- Gauch , H. G. 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science* (46):1488-1500.
- Gauch H. G. Jr. 1988. Model selection and validation for yield trials with interaction. *Biometrics* 44:705-715.
- García, L. 2003 Determinación del uso eficiente de nitrógeno en cuatro variedades de sorgo para grano en la zona del Pacífico de Nicaragua. *La Calera*. 3:36.
- González, A.T. 1961. Experimentación sobre el cultivo de sorgo en Costa Rica. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 160 p.
- Graveros, I.E. 2003. Cultivos sorgos graníferos. Consulta: 20/01/2018. Disponible: <http://www.producción.com.ar/2003/03ago-10.htm>.
- Glaz B. and M. S. Kang .2008. Location contributions determined via GGE biplot analysis of multienvironment sugarcane genotype-performance trials. *Crop Science* 48:941-950.
- Hammer, G. L., and R. L. Vanderlip. 1989. Genotype-by-environment interaction in grain sorghum. III. Modeling the impact in field environments. *Crop Sci.* 29: 385-391
- Hernández C. N; Dr.C; Soto C. F. 2013. Determinación de índices de eficiencia en los cultivos de maíz y sorgo establecidos en diferentes fechas de siembra y su influencia sobre el rendimiento. La Habana, Cuba. Vol.34-2.

Hidalgo, J.C. 1997. Evaluación del control químico de cuatro malezas en sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), en el valle de Zamorano. Proyecto especial del Programa de Ingenieros Agrónomos. Zamorano, Honduras. Consulta: 16/01/ 2018. Disponible: <http://fai.unne.edu.ar/biología/plantas/Alelopatía.htm>.

Jamieson, P.D., R.J. Martin, G.S. Francis y D.R. Wilson (1995). Drought effects on biomass production and radiation use efficiency in barley. *Field Crop Research* 43: 77-86.

Krieg, D.R. 2000. Cotton water relations. *Proceedings of the 2000 Cotton Research Meeting and Summaries of Cotton Research Progress*. (Ed. D.M. Oosterhuis). Agricultural Experiment Station, University of Kansas. USA. p. 7.

Lafitt, H, R. 2017. Estreses Abióticos que afectan al cultivo del maíz. Fao. Consultado: 24/febrero/ 2018. Disponible:

<http://www.fao.org/docrep/003/X7650S/x7650s12.htm>

Lilley, J.M. y S. Fukai (1994). Effect of timing and severity of water deficit on four diverse rice cultivars. III. Phenological development, crop growth and grain yield. *Field Crop Research* 37: 225- 234.

Lobo. 1994. Efecto del ambiente en la sincronización de floración de dos híbridos de sorgo. Requisito para la obtención de título de ingeniero agrónomo. Escuela agrícola panamericana. El zamorano, Honduras.

- Lozano, R.A. et al. 2015 Modelación de la interacción genotipo X ambiente en rendimiento de híbridos de maíz blanco en ambientes múltiples. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol.38 (4). Chapingo.
- Lozano, D. A, et al. 2009. Análisis de la interacción genotipo–ambiente mediante el modelo Ammi y potencial de producción de triticales forrajeros (X *Triticosecale* Wittm.). Universidad y Ciencia. Vol. 25 (1). Villahermosa 2009.
- Lozano, A.J., V.M. Zamora, L. Ibarra, S.A. Rodríguez, C. Lázaro, M.R. Ibarra. 2009. Análisis de la Interacción genotipo-ambiente mediante el modelo AMMI y potencial de producción de Triticales Forrajeros(x *Triticosecale* Wittm). Universidad y Ciencia Trópico Húmedo. 25(31): 81-92.
- López, L. 1991. Cultivos Herbáceos. Volumen I Cereales. 28001. Madrid: Mundi-Prensa,. 539 p. ISBN: 84-7114-324-0.
- Ludlow, M.M. y R.C. Muchow (1990). A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. *Advances in Agronomy* 43: 107-120.
- Ludlow, M.M., J.M. Santamaría y S. Fukai (1990). Contribution of osmotic adjustment to grain yield in *Sorghum bicolor* (L.) Moench under water-limited conditions. II. Water stress after anthesis. *Australian Journal of Agricultural Research* 41: 67-78.
- Manjarrez S., P. (1986). Respuesta de dos sorgos tolerantes al frío y a deficiencias hídricas en diferentes etapas fenológicas. Tesis de Maestría. COLPOS. Montecillos, Estado de México. 73 p.

- Maranville, J.W. & Madhavan, S. 2002. Physiological adaptations for nitrogen use efficiency in sorghum. *Plant and Soil*. 245:25.
- Marrero, L.I. *et al.* 2008. Producción de ensilaje de sorgo uranífero con vistas a la alimentación del cerdo. Memorias. III Seminario Internacional Porcicultura Tropical. Instituto de Investigaciones Porcinas, La Habana. (cd-rom).
- Martínez G. A. 1988. Diseños Experimentales. Métodos y Elementos de Teoría. Ed. Trillas. México, D.F. 756 p.
- Monterrey, C. 1997. Dosis y momento de aplicación en fertilizantes nitrogenados: Efecto sobre crecimiento, desarrollo y rendimiento del sorgo. Ing. Agr.UNA. Managua, Nicaragua. 44 P.
- Neumann, M. 2000. Resposta econômica da terminação de novilhos e confinamento, alimentados com silagens de diferentes híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench). *Ciência Rural*. 32 (5):849.
- Olmos, T. O. D. 1989. Estimación de las correlaciones fenotípicas y genéticas características en Sorgo grano (*Sorghum bicolor* L. Moench), Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buena Vista, Saltillo, Coahuila, México.
- Oramas, G. *et al.* 1998. Nueva colección se sorgo (*Sorghum bicolor*L.) para diferentes fines. IIHLD, La Habana. 161 p.
- Oramas, G. *et al.* 2002. Obtención de variedades de sorgo (*Sorghum bicolor*) de doble propósito a través del método de selección progenie por surco. *Agrotecnia de Cuba*. 28 (1):pag.39.

- Oramas, G. *et al.* 2003. Evaluación de nuevas variedades de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) de grano para consumo humano y animal. *Cultivos Tropicales*. 24 (1):73..
- Ostrowski, B. 1998. Sistemas intensivos en invierno. *Mundo Lácteo*. 4 (44). Pag.148
- Pacheco, D.R. 1998 Caracterización agronómica de dieciséis maicillos mejorados (*Sorghum bicolor* L. Moench) en diferentes localidades. Presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciatura. El Zamorano. Honduras 1998.
- Panorama agro. 2016. Sorgo. Consulta: 23 /01/18. Disponible: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200640/Panorama_Agro_alimentario_Sorgo_2016.pdf
- Pérez A. *et al.* 2010. Caracterización y potencialidades del grano de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Pastos y Forrajes* v.33 n.1 Matanzas ene.-mar.2010
- Rincón, A.; Ligarreto, G. y Sanjuanelo, D. 2007. Crecimiento del maíz y los pastos (*Brachiaria* sp.) establecidos en monocultivo y asociados en suelos ácidos del piedemonte llanero colombiano.vol. 25(2) , p. 264-272. . Agron. Colomb.
- Rosenow, D.T., G. Ejeta, L.E. Clark, M,L. Gilbert, R.G Henzell, A.K. Borrell y R.C. Muchow (1997). Breeding for pre- and post-flowering drought stress resistance in sorghum. *Proceedings of the International Conference on*

Genetic Improvement of Sorghum and Pearl Millet. INTSORMIL., Lincoln, Nebraska. pp. 400-411.

Ruiz, V.J. & Cruz, C.R.J. 2005. Selección de cultivares forrajeros de sorgo (*Sorghum bicolor*) y mijo (*Pennisetum americanum*) por índices de eficiencia de producción y calidad. *Agronomía mesoamericana*. Vol. 16, núm. (2). pp. 153-160. Costa Rica.

SAGARPA.2016. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

Saucedo, O.M. 2008. Empleo del sorgo en la alimentación animal y humana. Taller Nacional sobre empleo del sorgo. Universidad Central de Las Villas. Villa Clara, Cuba.

Salermo, J.C.1998 Forrajeras en su máximo esplendor. *Mundo Lácteo*. 4 (40):46.

Sankarapandian, R., D. Krishnadoss, N. Muppidathi y S. Chidambaram (1993). Variability studies in grain sorghum for certain physiological characters under water stress conditions. *Crop Improvement* 20: 45-50.

Saucedo, O.M. *et al.* 2008. Sistema de control de daño de las aves en el cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) en la provincia de Villa Clara. Memorias. III Seminario Internacional Porcicultura Tropical. Instituto de Investigaciones Porcinas, La Habana. (cd-rom).

Saucedo, O.M. 2009. Estudio regional de las aves que atacan el sorgo. Taller de la región Central sobre alimentación porcina. CIAP. Facultad Agropecuaria-Universidad Central de las Villas. Villa Clara, Cuba. (cd-rom).

- Sharp, R.E. (1994). Physiology of root elongation at low water potentials: advantage of a kinematic approach. *Plant Physiology* 105: 7
- USDA. Foreign Agricultural Service .2016- Production, Supply and Distribution (PSD) Online Database.
- USDA. Foreign Agricultural Service. 2016 GAIN Report. Mexico, Grain and Feed Update.
- USDA. Foreign Agricultural Service .2016 GAIN Report. Nigeria, Grain and Feed Update.
- USDA. Foreign Agricultural Service. 2016 GAIN Report. Ethiopia, Grain and Feed Annual.
- USDA. Foreign Agricultural Service .2016 GAIN Report. China, Grain and Feed Annual.
- USDA. World Agricultural Supply and Demand Estimates (WASDE). December 9th, 2016.
- Vitale, J.D. *et al.* 1998. Expected effects of devaluation on cereal production in the Sudanian region of Mali. *Agricultural Systems*. 57 (4):489 p.
- Yan W., L. A. Hunt, Q. Sheng and Z. Szlavnic. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science* 40:597-605.
- Yan W. and L. A. Hunt. 2001. Interpretation of genotype x environment interaction for winter wheat yield in Ontario. *Crop Science* 41:19-25.

Yang Yang, J., L. Zhang, Z. Huang, Q. Zhu y L. Wang .2000. Remobilization of carbon reserves is improved by a controlled soil-drying during grain filling of wheat. *Crop Science* 40: 1645-1655.

VII. APÉNDICE

Anexo 1. Genealogía de los 56 híbridos de sorgo los mismos que fueron evaluados en Roque, Guanajuato y la Estancia, Querétaro durante 2015.

ENTRA. No.	GENEALOGIA
1	Atx623xRtx2901
2	Atx623xRtx2906
3	Atx623xRtx430
4	Atx623xRtx434
5	Atx623xRtx2892
6	Atx623xRtx2893
7	Atx623xRtx2904
8	Atx623xRtx2905
9	Atx623xRtx2907
10	Atx623xRtx2898
11	Rtx2901⊗
12	Btx623
13	Rtx2906⊗
14	Testigo 8282
15	Atx626xRtx2901
16	Atx626xRtx2906
17	Atx626xRtx2908
18	Atx626xRtx434
19	Atx626xRtx2892
20	Atx626xRtx2893
21	Atx626xRtx2904
22	Atx626xRtx2905
23	Atx626xRtx2907
24	Atx626xRtx2898
25	Btx626
26	Rtx430

27	Rtx2908⊗
28	Testigo 8310
29	Atx629xRtx2906
30	Atx629xRtx2908
31	Atx629xRtx434
32	Atx629xRtx2892
33	Atx629xRtx2893
34	Atx629xRtx2904
35	Atx629xRtx2905
36	Atx629xRtx2907
37	Atx629xRtx2898
38	Btx629
39	Rtx2892⊗
40	Testigo 8428
41	Atx630xRtx2901
42	Atx630xRtx2908
43	Atx630xRtx434
44	Atx630xRtx2892
45	Atx630xRtx2893
46	Atx630xRtx2904
47	Atx630xRtx2905
48	Atx630xRtx2907
49	Atx630xRtx2898
50	Btx630
51	Testigo 8313
52	Rtx2893⊗
53	Rtx2904⊗
54	Rtx2904⊗
55	Rtx2905⊗
56	Rtx2898⊗