

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE AGRONOMIA



Evaluación y Selección de 135 Líneas Endogámicas Recombinantes de Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) y de sus dos Progenitores (Sureño y RTx430) en dos Localidades

Por:

ROBERTO GODÍNEZ GÓNGORA

TESIS:

**Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Título de:**

INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Noviembre, 2008.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

Evaluación y Selección de 135 Líneas Endogámicas Recombinantes de Sorgo
(*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) y de sus dos Progenitores (Sureño y RTx430) en dos
Localidades

Por:

ROBERTO GODÍNEZ GÓNGORA


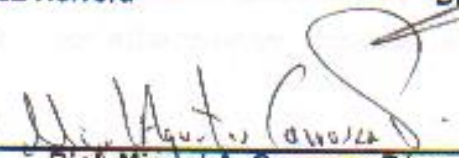
Que se Somete a Consideración del H. Jurado Examinador como Requisito Parcial
para Obtener el Título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA


A P R O B A D A:



M.C. Armando Rodríguez García.
Presidente del Jurado


Dr. Raúl Rodríguez Herrera
1er. Vocal
Dr. Víctor Zamora Villa
2do. Vocal
Biol. Miguel A. Carranza Pérez
3er. Vocal

Coordinador de la División de Agronomía:


Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Noviembre, 2008.  División de Agronomía
Coordinación.

DEDICATORIA

Gracias Dios mío por darme la fe, la esperanza y la tranquilidad espiritual que necesite, permitiéndome alcanzar este sueño tan deseado y gracias por darme el honor de brindarles a mis padres el orgullo de ver a su hijo graduado de Ingeniero en Agrobiología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Les dedico este trabajo principalmente a ustedes mis padres:

ROBERTO GODÍNEZ GUERRERO

MARGARITA GÓNGORA CHÍO

A ustedes los mejores padres del mundo que me dieron la vida y la fuerza para superar los obstáculos que me encontré en el camino, siempre han estado conmigo en todo momento de lo cual estoy muy agradecido. Gracias por todo papá y mamá, por darme la mejor herencia que un padre puede darle a su hijo, una profesión de la cual estoy muy orgulloso. Ya que ustedes que me dieron toda la confianza, aunque hemos pasado por momentos difíciles pero siempre han estado apoyándome y brindándome todo su amor, por todo esto les agradezco de corazón el que estén a mi lado. Al igual mis hermanos: Manuel, Gerссón y Rodrigo gracias por estar conmigo, los quiero mucho.

También te lo dedico a ti, Dania, por saber entenderme y soportarme en mis momentos de angustia y de desespero y por estar siempre dispuesta a ayudarme para que pudiera terminar mis estudios.

A mis amigos los que han pasado y los que sean quedado, porque todos ustedes han sido tantas veces parte aguas de mi vida, han marcado mi vida de alguna forma y me han abierto los ojos al mundo. Pero fueron muchas las personas que estuvieron siempre ahí para darme la mano y apoyarme, para darme aliento y motivarme a seguir adelante.

GRACIAS

AGRADECIMIENTO

A la “UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO”: Por haberme recibido en sus instalaciones y brindarme todos y cada uno de los servicios que presta, ya que sin ello no hubiese logrado mis objetivos.

Al DEPARTAMENTO DE BOTANICA: Del cual me causa un enorme orgullo haber pertenecido durante toda mi carrera y al cual agradezco todo su apoyo brindado durante toda mi carrera.

A LOS PROFESORES: Que con su enseñanza, conocimientos y consejos me ayudaron a ser una mejor persona.

Al M.C. ARMANDO RODRIGUEZ GARCÍA: por su generosidad al brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia científica en un marco de confianza, afecto y amistad, fundamentales para la concreción de este trabajo.

Al Dr. RAÚL RODRIGUEZ HERRERA: Por su colaboración como sinodal en la revisión de este trabajo.

Al Dr. VÍCTOR ZAMORA VILLA: Por su participación como sinodal en la revisión y corrección de este trabajo.

Al Biol: MIGUEL A. CARRANZA PEREZ: Por su colaboración como sinodal en la revisión de este trabajo.

A TODAS y cada una de las personas que de manera directa o indirectamente me apoyaron para la elaboración de este trabajo y en el transcurso de toda mi carrera . i

“Gracias”

ÍNDICE DE CONTENIDO

Página

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	II
ÍNDICE DE CONTENIDO	III
ÍNDICE DE CUADROS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVOS	5
HIPÓTESIS	5
REVISION DE LITERATURA	6
ANTECEDENTES	6
TAXONOMIA	8
DESCRIPCIÓN BOTÁNICA	9
Sistema Radicular	9
Tallos	9
Hojas	10
Flores	10
Grano	10
CICLO VEGETATIVO	11
ETAPAS FENOLÓGICAS DEL CULTIVO	11
Fase Vegetativa	11
Fase Reproductiva	12
Fase de Maduración	12
REQUERIMIENTOS ECOLÓGICOS Y EDÁFICOS	13
Temperatura	13
Humedad	13
Altitud	14
Latitud	14
Fotoperíodo	14
Suelo	14
Siembra	15
Época de Siembra	15
Cosecha	15
Época de Cosecha	16
TIPOS DE SORGO	17
Sorgo forrajero	16
Sorgo para producción de etanol	16
IMPORTANCIA DEL SORGO EN EL MUNDO	18
IMPORTANCIA DEL SORGO EN MÉXICO	20

Principales Estados Productores de Sorgo en México	21
Producción Obtenida.....	21
MEJORAMIENTO GENÉTICO	22
ENDOGAMIA O CONSANGUINIDAD.....	25
Consecuencias de la endogamia.....	25
Fines de la endogamia	26
INTERACCION GENOTIPO AMBIENTE	26
MODELO AMMI.....	27
MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
LOCALIDAD	28
MATERIAL GENÉTICO.....	28
LABORES CULTURALES	29
SIEMBRA	29
FERTILIZACION	30
VARIABLES EVALUADAS	30
Altura de Planta.....	30
Excursión.....	30
Diámetro del Tallo.....	30
Dulzura.....	31
Largo de Hoja Bandera (LHB).....	31
Ancho de Hoja Bandera (AHB).....	31
DISEÑO EXPERIMENTAL.....	31
ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	31
Media.....	32
Rango.....	32
Coeficiente de Variación (C.V.)	33
EL MODELO AMMI	33
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
VARIABLES	34
Altura de Planta.....	34
Diámetro del Tallo.....	36
Dulzura de Tallo.....	37
Excursión.....	38
Largo Hoja Bandera.....	38
Ancho Hoja Bandera.....	39
SELECCION.....	41
INTERACCION GENOTIPO AMBIENTE	41
CONCLUSIONES.....	44
LITERATURA CITADA	45

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 2.1: Época de Siembra para los Estados mas Productores de Sorgo en México.....	15
Cuadro 2.2: Fechas de Cosecha de Sorgo en México	16
Cuadro 2.3: Principales Estados Productores de Sorgo en México por Ciclo...	21
Cuadro 4.1: Coeficiente de Variación (C.V.), Media (μ), Rango, Valor más Bajo y más Alto, Valores Arriba de la Media y Valores de Bajo de la Media, de seis variables de sorgo evaluadas en Valle Hermoso, Tamaulipas y San Pedro, Coahuila, durante el ciclo PV 2006	34
Cuadro 4.2: Cuadrados medios y significancias de seis variables de sorgo evaluadas en Valle Hermoso, Tamaulipas y San Pedro, Coahuila, durante el ciclo PV 2006 ..	35
Cuadro 4.3: Valores Medios (μ) de localidades y progenitores , obtenidos en seis variables de sorgo evaluadas en Valle Hermoso, Tamaulipas y San Pedro, Coahuila, durante el ciclo PV 2006.....	36
Cuadro 4.4: Cuadrados medios del Analisis AMMI en 6 variables de sorgo evaluadas en 2 ambientes durante el ciclo PV 2006.....	42
Cuadro 4.5: Comportamiento de algunas LER en dos ambientes de prueba en seis variables evaluadas en el ciclo P.V. 2006.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1: Producción, Consumo, Importación y Exportación de Sorgo a nivel Mundial.....	19
Figura 2.2: Producción Obtenida de Sorgo en México (1980-2007).....	22
Figura 4.1: Distribución de las LER en los ambientes de evaluación para la altura de planta, de acuerdo al análisis AMMI.....	42

RESUMEN

En nuestro país el cultivo de sorgo para grano ocupa el tercer lugar después del maíz y el frijol. El Estado de Tamaulipas ocupa el primer lugar en superficie sembrada y la región del Bajío, el primer lugar en rendimiento por unidad de superficie. Es un cultivo con una amplia adaptabilidad y de fácil manejo ya que la mayoría de las labores culturales se realizan de manera mecánica. El sorgo ha venido ganando importancia en el consumo humano con la utilización de sorgos con grano blanco, los cuales pueden ser utilizados en la elaboración de harinas y otros productos. Así también algunas otras variedades de sorgo para producción de forraje y etanol.

El objetivo del presente trabajo evaluar el comportamiento agronómico de 135 líneas endogámicas recombinantes (LER) y llevar a cabo una selección de las mejores. Se realizó el presente trabajo de investigación en dos localidades contrastantes; Valle Hermoso, Tamaulipas y San Pedro, Coahuila. El material genético utilizado fueron 135 LER de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.), las cuales se derivaron de la cruce entre dos progenitores contrastantes; la variedad Sureño y la línea RTx430, las LER se establecieron en campo bajo un diseño de α -latice 9 x 15 con dos repeticiones. Las variables evaluadas fueron; altura de planta, diámetro del tallo, ancho de la hoja bandera, largo de hoja bandera, dulzura de tallo y excersión, las cuales se analizaron con ANVA combinado, se les estimó su CV, media, rango y valores arriba y debajo de la media.

Los resultados mostraron que la mayoría de las variables presentaron diferencias altamente significativas para la fuente de variación genotipo por localidad, lo que indica la interacción entre las líneas y los ambientes de prueba.

Respecto a los ambientes se encontró que las variables altura de planta, diámetro de tallo y grados Brix presentaron los valores medios más altos en la localidad de San Pedro, mientras que de las variables excersión, largo de hoja bandera y ancho de hoja bandera los valores medios más altos se obtuvieron en Valle Hermoso, de lo anterior se puede mencionar que al menos en este trabajo la localidad de San Pedro pudiera brindar mejores condiciones agroecológicas para el desarrollo del cultivo del sorgo.

De acuerdo con el comportamiento y los resultados obtenidos en las líneas evaluadas, se llevo a cabo una selección de materiales que pudieran ser utilizados como variedades de polinización libre para producción de forraje, el RIL062, RIL143, RIL129, RIL082 y 1017 y para producción de etanol se selecciono el RIL129 y RIL101.

Palabras claves: selección, endogamia, mejoramiento genético, interacción genotipo ambiente, modelo AMMI.

INTRODUCCION

El sorgo ocupa el quinto lugar como cereal más importante del mundo (Gutiérrez, 2003). En México la producción de sorgo para grano en el 2004 alcanzó 7 millones de toneladas siendo la tercera producción más importante de cultivos agrícolas después de la caña de azúcar y maíz. Sin embargo la producción de sorgo fue insuficiente para cubrir las necesidades del país, prueba de ello es que México necesitó importar casi 3.3 millones de toneladas en ese mismo año (Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos, 2008).

El sorgo es considerado como uno de los principales cultivos de la llamada agricultura comercial, ya que en gran parte del país se produce con altos niveles tecnológicos y su expansión en los últimos cuarenta años, se encuentra asociada al acelerado crecimiento de la actividad ganadera, factor que ha generado una extensa demanda para cubrir las necesidades de la industria de alimentos balanceados y forrajes para ganado (Galván, 2004). Además existe una gran variedad de usos potenciales de este grano en la industria para la elaboración de productos alimenticios para consumo humano; por ejemplo: pastas, harinas para tortilla, panes, frituras, bebidas alcohólicas, etc. (Consumer, 2005)

En el futuro la importancia del sorgo como alimento y forraje se incrementarán, no solo en las regiones semiáridas sino también en las áreas con moderados recursos hídricos, lo anterior se basa en el sobrecalentamiento del planeta (Chittlenden *et al.*, 1994). Esto gracias a que la planta posee una gran capacidad, morfológica y fisiológica de adaptación, aunado a esto todos sus usos potenciales es lo que ha motivado el interés de los investigadores, a realizar estudios tendientes a encontrar en este cultivo mejores rendimientos, mejores técnicas de producción, materiales con resistencia a plagas y enfermedades entre otras, tratando de que este cultivo sea económicamente redituable especialmente para aquellos productores de bajos recursos. Lo anterior constituye una de las metas más importantes de la mayoría de los programas de mejoramiento genético (Jiménez, 1999).

Además de lo mencionado, la mayoría de la superficie que se siembra en el país, el 90% se cubre con semilla híbrida producida por compañías trasnacionales y de esta el 80% es importada de los Estados Unidos de América principalmente, a través de varias compañías semilleras quienes la comercializan entre los agricultores, lo cual causa una fuerte salida de divisas del país (Galván, 2004).

Por lo que en el presente trabajo se pretende llevar a cabo una evaluación y selección de líneas de sorgo con los mejores caracteres agronómicos requeridos para incrementar la producción de sorgo para forraje y etanol en nuestro país.

OBJETIVOS

- Evaluar el comportamiento agronómico de 135 líneas endogámicas recombinantes (LER) de sorgo y sus progenitores.
- Determinar la estabilidad o la interacción genotipo ambiente de las LER en los ambientes de prueba.
- En base a la evaluación seleccionar las mejores líneas que presenten potencial para ser utilizadas como variedades para la producción de forraje y producción de etanol.

HIPÓTESIS

- Existe variabilidad genética entre las Líneas Endogámicas Recombinantes (LER).
- Las LER responden de diferente manera en los ambientes de prueba.
- Se pueden seleccionar LER con potencial para ser utilizadas como variedades en la producción de forraje y etanol.

REVISION DE LITERATURA

Antecedentes

Reportes indican que el sorgo existió en India en el siglo I d. C. Esculturas que lo describen se hallaron en ruinas asirias de 700 años a. C. Sin embargo, el sorgo quizás sea originario de África Central -Etiopía o Sudán-, pues es allí donde se encuentra la mayor diversidad de tipos. Esta diversidad disminuye hacia el norte de África y Asia. Existen sin embargo, ciertas evidencias de que surgió en forma independiente tanto en África como en la India. El sorgo como cultivo doméstico llegó a Europa aproximadamente hacia el año 60 d. C. pero nunca se extendió mucho en este continente. No se sabe cuándo se introdujo la planta por primera vez en América (Manual del cultivo del sorgo, 2008).

Las primeras semillas probablemente se llevaron al hemisferio Occidental en barcos de esclavos procedentes de África. Las primeras especies de sorgos dejaban mucho que desear como cultivo granífero. Eran muy altos y, por lo tanto, susceptibles al vuelco y difíciles de cosechar. Además maduraban muy tardíamente. Los tipos Kafir y Milo fueron seleccionados como productores de granos por los primeros colonos en las grandes planicies debido a que su tolerancia a la sequía es mayor que la del maíz (Manual del cultivo del sorgo, 2008).

Con el advenimiento de las máquinas cosechadoras se hicieron selecciones a partir de los materiales originales, obteniendo tipos más precoces y algo más bajos. Sin embargo, fue la combinación de "tipos" de sorgo granífero, iniciada por John B. Seiglinger de Oklahoma, lo que hizo posible cultivarlos utilizando la cosecha mecanizada. El desarrollo posterior de los tipos precoces, así como de variedades resistentes a enfermedades e insectos, junto con el mejoramiento de otras prácticas de producción, estableció firmemente el sorgo granífero como un importante cultivo (Manual del cultivo del sorgo, 2008).

Pero el proceso más trascendental, sin embargo, aún no había llegado. Como resultado de las investigaciones de Quinby y Stephens de Texas, los híbridos se hicieron realidad hacia 1950 y actualmente los rendimientos alcanzan a más de 13.440 kg/ha en los sorgos graníferos híbridos (Manual del cultivo del sorgo).

Aunque el sorgo llegó a América Latina a través del comercio de esclavos y traído por navegantes de la ruta de comercio Europa-África-América Latina en el siglo XVI, el cultivo no cobró importancia sino hasta el siglo actual. Algo similar ocurrió con el sorgo en Australia. Ya para 1900 el sorgo granífero había sido establecido en Las Grandes Planicies y en el estado de California en EUA. Poco después, nuevos híbridos y líneas progenitoras fueron desarrollados y se empezó la distribución de semilla híbrida en 1956, llegando a México y Argentina en 1957. Desde entonces, la producción de sorgo para grano ha sido muy importante en América Latina (FAO, 1995).

El sorgo se introdujo a México en la década de los 50's por la oficina de estudios especiales de la fundación ROCKEFELER con 150 variedades de polinización libre de los Estados Unidos de Norte América, tratando de aprovechar las características que posee, como es su manejo relativamente fácil y sobre todo su resistencia a la deficiencia de agua comparada con otras especies cultivadas. Sin embargo, existen reportes que comprueban que este cultivo ya se sembraba en México a finales del siglo XIX (Robles, 1990).

El sorgo en México empezó a adquirir importancia aproximadamente en el año de 1958, en la zona norte de Tamaulipas (Río Bravo), al iniciarse el desplazamiento del cultivo del algodón en aquella región y es uno de los cultivos que día con día va adquiriendo cada vez más importancia y se ha visto que puede ser un complemento o puede sustituir al maíz en la mayoría de los usos que éste tiene, como forraje y grano para la alimentación humana, de animales y en el uso industrial. Al introducirse el sorgo en México se introdujo también su tecnología originando con esto que en la actualidad el mercado de semillas certificadas dependa casi en su totalidad de compañías extranjeras, en México, de la totalidad de la semilla que se utiliza para la siembra, el 90-95% lo constituye compañías extranjeras y el 5-10% restante de dependencias del gobierno como INIFAP (Robles, 1990).

El sorgo es uno de los principales granos en México su importancia radica en que nutre de materia prima a la industria generadora de alimentos balanceados para animales la cual a su vez permite que el mercado alimentario disponga de proteínas de origen animal, forma parte de una amplia cadena en la que se involucran una diversidad de agentes que van desde los productores, pasando por las industrias hasta llegar a los consumidores (Barreiro, 1997).

En la actualidad se estima que el 51% de la producción se utiliza como ingrediente para la elaboración de alimento para ganado y el 49% restante para alimentación humana y su uso como materia prima en procesos de industrialización, como es el caso de la producción de malta de sorgo (Espinosa *et al.*, 2003).

Las virtudes que ofrece el sorgo para su cultivo son: mayor precocidad y resistencia a la sequía, debido a que la planta tiene la capacidad de suspender su crecimiento cuando le falta agua, renovando nuevamente su ciclo de crecimiento con la primera lluvia, mientras que el maíz, en estas condiciones, se muere. Otros aspectos positivos que le han dado importancia, es que puede utilizarse de la misma manera que el maíz, ya que la composición es semejante, e incluso más rica en proteína, la harina que se puede extraer es de sabor agradable de fácil digestión y muy semejante a la del trigo. En algunos países del mundo, cocido toma un aspecto agradable, constituyendo así un alimento semejante al arroz por su parte, las desventajas que ofrece, es que la cosecha está más expuesta a los daños que le causan los pájaros (Barreiro, 1997).

Taxonomía del *Sorghum bicolor* (L.) Moench.

Reino:	Vegetal
División:	Trachaeophyta
Subdivisión:	Pteropsidae
Clase:	Angiospermae
Subclase:	Monocotiledoneae
Grupo:	Glumiflora
Orden:	Graminales
Familia:	Graminae
Subfamilia:	Panicoideas
Tribu:	Andropogoneae
Género:	<i>Sorghum</i>
Especie:	<i>bicolor</i>

Descripción Botánica

El sorgo pertenece a la familia de las gramíneas. La especie es el *Sorghum bicolor* el cual tiene una altura de 1 a 2m. Tiene inflorescencias en panojas y semillas de 3mm esféricas y oblongas, de color negro, rojizo y amarillento. Tiene un sistema radicular que puede llegar en terrenos permeables a 2m de profundidad. Las flores tienen estambres y pistilos, pero se han encontrado en Sudán sorgos dioicos (<http://www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/sorgo.htm>).

Sistema Radicular

Las raíces del sorgo son adventicias, fibrosas y desarrollan numerosas raíces laterales. La profusa ramificación y amplia distribución del sistema radicular es una de las razones por las cuales el sorgo es tan resistente a la falta de agua. La planta puede permanecer latente durante largos periodos de sequía sin que las partes florales en desarrollo mueran, pudiendo además continuar nuevamente el crecimiento una vez que las condiciones vuelvan a ser favorables (Robles, 1990).

Tallos

Estos son cilíndricos, erectos, sólidos y pueden crecer a una altura de 0.60m. a 3.50m. estando divididos longitudinalmente en canutos (entrenudos) cuyas uniones las forman los nudos y de los cuales emergen las hojas. Cada uno está provisto de una yema lateral. La longitud de los entrenudos o canutos determinan la altura de la planta, por lo que algunas variedades enanas dobles, enanas y altas, de la misma precocidad y en el mismo estado de madurez, tendrán el mismo número de hojas, nudos y entrenudos, siendo la diferencia de altura debida a la mayor longitud de los entrenudos en algunas variedades pero menor en otras (Robles, 1990).

Hojas

Las hojas aparecen alternas sobre el tallo, las vainas florales son largas y en las variedades enanas se encuentran superpuestas, todas las variedades varían en el tamaño de sus hojas, pero todas ellas las poseen algo más pequeñas que las de maíz. Las hojas del sorgo se doblan durante periodos de sequía, características que reduce la transpiración, contribuye a tan peculiar resistencia de la especie a la sequía (Robles, 1990).

Flores

La inflorescencia del sorgo llamada panícula, es compacta o semicompacta en algunas variedades como los milos, hegaris, kafirs, etcétera, y abiertas en otras como los Shallus, sorgos escoberos, el pasto Sudán, algunos sorgos forrajeros, etcétera. Las florecillas son de dos clases sésiles y pediceladas, las últimas son por lo general estaminadas. Cada florecilla sésil contiene un ovario, el cual después de la fecundación se desarrolla para formar una semilla (Robles, 1990). El sorgo generalmente se autofecunda: sin embargo, no existe ningún obstáculo para la fecundación cruzada, pues cuando dos variedades diferentes se encuentran en parcelas contiguas puede estimarse el cruzamiento en un 5% o más según las variedades. El polen aparece inmediatamente después de la dehiscencia y retiene su viabilidad por menos de una hora. Los estigmas, por el contrario, permanecen receptivos por varios días (Robles, 1990).

Grano

Los granos de sorgo, en número de 25000 a 60000 por Kg. Son pequeños en comparación con aquellos de maíz, los cuales se encuentran en número de 4000 a 8000 por Kg. El color de la semilla, puede ser blanco, rojo, amarillo o café y proviene de capas de células que envuelven al pericarpio. La mayor parte del cariósido (fruto de las gramíneas) es endospermo, el cual se compone de almidón casi en su totalidad (Robles, 1990).

Ciclo Vegetativo

Es el número de días que una planta necesita para llegar a la cosecha a partir del momento de la siembra, pasando por un determinado número de etapas fenológicas. El ciclo de este cultivo es de 90 a 140 días desde la siembra hasta la madurez fisiológica según sea la variedad y las condiciones ambientales de la región (Robles, 1990).

Etapas Fenológicas del Cultivo

El desarrollo de una planta está influenciado por varios factores meteorológicos de los cuales los más importantes son las temperaturas del aire y del suelo y la duración de la luz del día (fotoperiodo). El comienzo y fin de las fases sirven como un medio para juzgar la rapidez del desarrollo de estas plantas. Con base en los datos de observaciones fenológicas precisas, recopiladas durante muchos años, es posible definir las regularidades en el crecimiento de una planta en relación con su medio ambiente, así como sus requerimientos con respecto a los factores meteorológicos.

(<http://es.beekeeping.wikia.com/wiki/Fenolog%C3%ADa>).

Fase Vegetativa

Germinación y Desarrollo de la Planta: Cuando una semilla se coloca en un suelo húmedo, absorbe el agua y se hincha. La germinación ocurre rápidamente si el suelo es caliente (20° C o más). Cuando la semilla se hincha el tegumento se rompe y emerge un pequeño coleóptilo y una raíz primaria (radícula). El coleóptilo crece y aparecen más raíces primarias que emergen de la superficie del suelo. La planta joven empieza a crecer añadiendo más hojas y el coleóptilo permanece como un tejido en la base de la planta. El mesocotilo crece durante este periodo y se forma un nido en la base del coleóptilo justo debajo de la línea del suelo. La plántula joven utiliza durante este periodo el alimento almacenado en el endospermo al tiempo que las raíces secundarias comienzan a desarrollarse el mesocotilo comienza a morir y el sistema radicular mayor se desarrolla de las raíces secundarias o adventicias (Capton, 1990).

Fase Reproductiva

Desarrollo de la Inflorescencia y Polinización: La iniciación floral se forma de 30 a 40 días después de la germinación esta se encuentra de 15 a 30cm. por encima de la superficie del suelo cuando las plantas tienen de 50 a 70cm. de altura. La iniciación floral marca el final del crecimiento vegetativo debida a la actividad meristemática. La formación de la yema floral sigue el periodo mas largo del crecimiento de la planta de sorgo el cual consiste en gran parte en alargamiento de las células. Durante el periodo de alargamiento celular rápido, la iniciación floral se transforma en una inflorescencia. Alrededor de 6 a 10 días antes de la floración se forma la bota como una prominencia en el tejido de la hoja bandera, esto sucede alrededor de los 55 días de la germinación. El sorgo florea normalmente entre los 55 y 70 días en climas templados, pero su floración puede variar entre 30 y más de 100 días. La panícula de sorgo comienza a florecer en la punta y florea sucesivamente hacia abajo en un periodo de 4 a 5 días (Duthil. 1976).

Al tiempo de la floración las glumas se abren y las tres anteras se liberan, mientras que surgen los dos estigmas, cada uno sobre un estilo rígido. La floración ocurre normalmente poco después de la salida del sol. La dehiscencia de las anteras ocurre cuando están secas y el polen se esparce en el aire. El cultivo del sorgo es básicamente de polinización cerrada; esto quiere decir que el polen de una panícula fertiliza la mayoría de los óvulos en la misma panícula. El polen vuela hacia los estigmas, donde germina; el tubo polínico, con dos núcleos, crece hacia abajo a través del estilo para fertilizar el óvulo y formar el núcleo $2n$ y el endospermo $3n$ (Robles, 1990).

Fase de Maduración

El óvulo comienza a formarse como una esfera verde claro, casi de color crema; después de 10 días empieza a crecer y se vuelve de un verde más oscuro. Toma alrededor de 30 días para que las semillas alcancen el peso seco máximo. Durante este desarrollo la semilla pasa por 3 estadios (Frankel, 1984).

- Lechoso
- Masoso suave
- Masoso duro

Las semillas comienzan a cambiar de color verde al color que tendrán en la madurez. Las semillas contienen alrededor de un 30% de humedad a la madurez fisiológica; se secan entre 10 - 15% durante los siguientes 10 a 25 días. Durante este periodo pierden hasta el 10% de su peso seco. La semilla esta lista para cosecharse en cualquier tiempo después de la madurez fisiológica; sin embargo una semilla con un porcentaje arriba del 12% de humedad debe ser secada antes de almacenarse (Frankel, 1984).

Requerimientos Ecológicos y Edáficos

Como es un cultivo que se siembra en diversos países del mundo, es una especie que se adapta a condiciones ecológicas y edáficas muy diversas, es susceptible de aprovecharse económicamente en siembras comerciales en diversas regiones agrícolas con las siguientes condiciones (Robles, 1990).

Temperatura

Por ser una especie de origen tropical, el sorgo requiere temperaturas altas para su desarrollo normal, siendo por lo tanto más sensible a las bajas temperaturas que otros cultivos. Para una buena germinación, el suelo a 5 cm. de profundidad, debe tener una temperatura no inferior a los 18°C. Si el suelo estuviese más frío, entre 15 y 16°C, tendría una emergencia lenta y desuniforme, con plántulas débiles y rojizas. Durante la floración requiere una mínima de 16°C, pues por debajo de este nivel se puede producir esterilidad de las espiguillas y afectar la viabilidad del grano de polen (Jiménez, 1989).

Humedad

Los sorgos se cultivan ampliamente en las zonas tropicales y templadas, pueden desarrollarse en regiones muy áridas. Su mayor capacidad para tolerar la sequía, alcalinidad y las sales, que la mayor parte de las plantas cultivadas, hace de los sorgos un grupo valioso en zonas de escasa humedad o de poca precipitación, es propio cultivar el sorgo en las áreas donde la lluvia es insuficiente para el cultivo del maíz, como en aquellas que tengan una distribución de 400 a 600mm de precipitación media anual (Hughes, 1984).

Altitud

Por sus altas exigencias de temperatura, raramente se le cultiva más allá de los 1800m de altura. Se cultiva favorablemente de 0 a 1000msnm. En México se ha cultivado con éxito a 2200msnm. En el valle de Toluca que tiene una altitud de 2600msnm se han hecho pruebas con resultados satisfactorios (Robles, 1990).

Latitud

El sorgo se puede cultivar entre las latitudes de 45° latitud norte y 35° latitud sur; en el área comprendida entre estas latitudes donde se puede cultivar el sorgo con mayores rendimientos, debido a que más al norte o más al sur las temperaturas son más bajas (Robles, 1990).

Fotoperiodo

El sorgo se caracteriza por ser de un fotoperíodo corto, lo cual quiere decir que la maduración de la planta se adelanta cuando el periodo luminoso es corto y el oscuro largo. Sin embargo existe diferencias en cuanto a la sensibilidad a la longitud del fotoperiodo; por ejemplo, algunas variedades botánicas como los sorgos escobero (*var. technicum*) son poco sensitivas, en tanto que las variedades Hegari y Milo son sumamente sensitivas (Hughes, 1984).

Suelo

Puede cultivarse en una diversidad de suelos pero será mejor en los terrenos ligeros, profundos y ricos en nutrientes los de aluvión son buenos. Los suelos arcillosos, aunque pueden proporcionar buenos rendimientos, tienen el inconveniente de que la sequía hace daños en el sistema radicular al agrietarse el terreno por lo que hay que recurrir al agua de riego en los casos extremos. Se ha encontrado que este cultivo puede sembrarse en terrenos con ciertas proporciones de sales solubles que limita la producción de otros cultivos (Robles, 1990).

Siembra

En la siembra de sorgo granífero se utilizan todos los sistemas de siembra, desde el convencional hasta la labranza reducida. Entre ambos extremos existen distintas labores y combinaciones, que se adaptan a cada región en particular, según tipo de suelo, clima y secuencia de cultivos realizados, pueden ser:

- a) A chorrillo.
- b) La siembra convencional.
- c) En hileras con sembradoras de arroz.
- d) Siembra con labranza reducida.

(<http://www.viarural.com.ar/viarural.com.ar/insumosagropecuarios/agricolas/semillashibridas/cargill/manualsorgo/manualsorgocargill13.htm>).

Época de Siembra

Las condiciones climatológicas de la región determinan la época de siembra de los cultivos, sin embargo en algunos centros experimentales del INIFAP han determinado las fechas más convenientes para siembra (Cuadro 2.1) de esta gramínea (Robles, 1990).

Cuadro 2.1: Época de Siembra para los Estados mas Productores de Sorgo en México.

Región	Ciclo	Fecha
TAMAULIPAS (región norte)	Primavera Verano	11 feb. al 18 de Mar. No aconsejable después por presentar se problemas de plagas (mosca de la panoja)
GUANAJUATO	Primavera Verano	1° al 15 Abr.(Para híbridos tardíos) 1° al 25 de Jun. (Al momento del Temp.)
MICHOACÁN	Primavera Verano	1° de Mayo al 10 Mayo Sorgo de temporal.
JALISCO	Primavera Verano	De Abril a principios de Mayo
COAHUILA	Primavera Verano	15 Marzo al 15 de Abril 15 de Junio al 15 de Julio
SINALOA	Primavera Verano	15 de Enero al 28 de Febrero

Fuente: Tomado del Libro Producción de Granos y Forrajes (Robles, 1990)

Cosecha

Esta labor se debe realizar cuando el grano tenga de 14 a 18% de humedad, lo que ocurre entre los 105 y 120 días a partir de la fecha de siembra, en función del ciclo vegetativo del híbrido o variedad sembrada. Para ello, se debe bajar el nivel de humedad al 14%. Si se lo deja secar en pié, mientras la humedad baja del 20 al 14%, se producen pérdidas por diversas causas. La cosecha se realiza de diferentes formas dependiendo de la región y el tipo de productor, por ejemplo:

- De forma manual.
- De forma mecánica.

(<http://www.viarural.com.ar/viarural.com.ar/insumosagropecuarios/agricolas/semillashibridas/cargill/manualsorgo/manualsorgocargill31.htm>).

Época de Cosecha

Alrededor de 30 días después de la floración, el grano de sorgo alcanza su madurez fisiológica y forma una capa negra (abscisión) que corta el movimiento de nutrientes y agua de la planta al grano (Robles, 1990).

En este estado el grano tiene entre un 30 y 35 % de humedad y continúa perdiéndola durante los 25 a 30 días subsiguientes, hasta alcanzar una humedad del 20 al 23%, nivel que permite iniciar la cosecha, pero no almacenar el grano. Algunas de las fechas de cosecha de algunas regiones del país se pueden observar en el Cuadro 2.2.

Cuadro 2.2: Fechas de Cosecha de Sorgo en México

Lugar	Época	Fecha de Cosecha
Valle del Yaqui, del Mayo y de Guaymas	Siembra de primavera	15 de julio a 15 de agosto
	Siembra de verano	Todo diciembre
Costa de Hermosillo	Siembra de primavera	Todo julio
	Siembra de verano	Todo noviembre
Región de Caborca	Siembra de verano	1° de septiembre al 15 de octubre
Carrizo	Siembra de primavera	1° de junio al 31 de julio
	Siembra de verano	15 de noviembre al 15 de diciembre

Fuente: Tomado del Libro Producción de Granos y Forrajes (Robles, 1990)

Tipos de Sorgo

Sorgo Forrajero

El sorgo forrajero es una especie que se adapta bien a zonas donde el maíz se ve limitado en su producción y calidad por problemas edáficos y/o climáticos. Su morfología y fisiología hacen que tenga una alta resistencia a la desecación (capacidad de transpiración relativamente pequeña en relación a la gran capacidad de absorción de las raíces, capacidad de enrollar las hojas y cerrar los estomas para disminuir la evaporación durante períodos de estrés hídrico), que le permite resistir la sequía. También se adapta a suelos con menor fertilidad, aunque requiere que estén bien preparados y libres de malezas, porque sus plantas son muy débiles (Romero et al, 2002).

Los sorgos forrajeros y especialmente los híbridos azucarados presentan muy buenas características para ser utilizados para silaje: alta producción de materia seca (MS), aceptable calidad y muy buena conservación debido al alto contenido de azúcar que poseen en el tallo. La modalidad de siembra podría modificar las características señaladas (Romero et al., 2001).

Sorgo para Producción de Etanol

Sorgo dulce (or) es similar al sorgo para grano con un tallo rico en azúcar, casi similar a la caña de azúcar. Además tiene amplia adaptabilidad, rápido crecimiento y alta acumulación de azúcar y producción potencial de biomasa. El sorgo dulce es tolerante a la sequía, inundaciones, salinidad del suelo y toxicidad por acidez. Este tiene un gran potencial para la producción de jaggery, sirope y alcohol (más importante Gasohol, el cual es etanol mezclado con petróleo). El contenido de azúcar en el jugo extraído del sorgo dulce varía de 16-23 % Brix.

El sirope del sorgo es extraído de la planta mediante la molienda del tallo. El sirope es producido primariamente en los Estados Unidos y es usado para la industria alimentaria como sustituto del azúcar. Investigaciones han evaluado el sorgo como materia prima para la producción de etanol. El grano del sorgo dulce se puede utilizar como alimentación para las aves de corral y el ganado (De La Cruz, 2007).

El sorgo produce un volumen de etanol idéntico al maíz. El 10-20% de producción de sorgo dulce de Estados Unidos se utiliza actualmente para la producción de etanol que está aumentando rápidamente (sobre ocho mil millones L/año) de demanda en parte debido a la eliminación de MTBE (éter butílico terciario metílico). Por supuesto y quizás solamente a corto plazo allí tiene ventajas significativas el tener un grano no transgénico (De La Cruz, 2007).

El sorgo dulce es la mayor material prima alternativa que puede suplementar el uso de la caña de azúcar en la producción de etanol. La producción etanol de este se compara bien con la caña de azúcar, pues se producen 5600 L por ha (sobre dos cultivos, de 70 t por ha de tallo molido por cultivo a 40 L por t); para el cultivo de la caña de azúcar se producen 6,500 L por ha por cultivo (de 85-90 t por ha de caña molida por cultivo a 75 L por t). La ventaja significativa de la producción de etanol a partir del mismo es que es amistosa con el medio ambiente pues no se usa la ruta de las mieles. El nivel de contaminación basado en la producción de etanol tiene $\frac{1}{4}$ de DBO, es decir 19 500 mg/L y también tiene menos DQO 38 640 mg/L comparado con la ruta de la caña de azúcar (De La Cruz, 2007).

Importancia del Sorgo en el Mundo

A nivel mundial se pueden distinguir cuatro principales países productores: Estados Unidos, India, Nigeria y China, los que en conjunto aportan 65% de la producción mundial (Barreiro, 1997).

La producción mundial de sorgo 2002/03 fue de aproximadamente 54.80 millones de toneladas, cifra que representa una baja de más de 2.29 millones de toneladas respecto a 2001/02 debido al decremento en la cosecha de Estados Unidos. La producción de Estados Unidos tuvo una caída de 25%; la de México se incremento de 350 mil toneladas a 6.85 millones; y la de Australia en casi 500 mil a 2.2 millones de toneladas. China registra un alza aproximada de 100 mil toneladas a 2.2 millones de toneladas. Las exportaciones mundiales se tienen en 6.46 millones de toneladas, 540 mil toneladas por debajo del ciclo anterior ante la menor oferta exportable en Estados Unidos y las menores importaciones de México (Figura 2.1) (ASERCA, 2002).

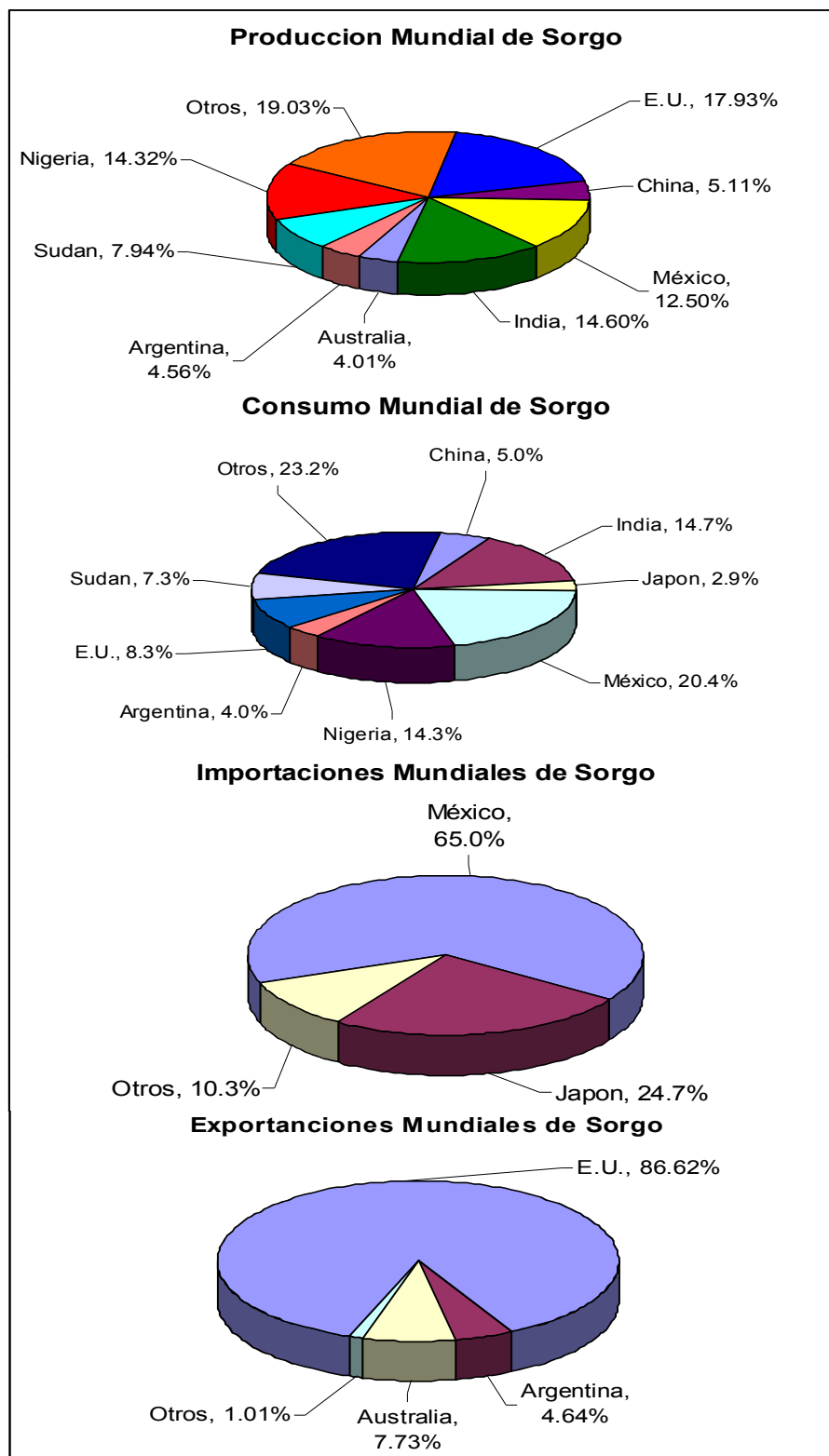


Figura 2.1: Producción, Consumo, Importación y Exportación de Sorgo a Mundial.
Tomado de: Aserca con datos del USDA, Octubre 2002.

Importancia del Sorgo en México.

El sorgo es uno de los principales granos en México su importancia radica en que nutre de materia prima a la industria generadora de alimentos balanceados para animales la cual a su vez permite que el mercado alimentario disponga de proteínas de origen animal, forma parte de una amplia cadena en la que se involucran una diversidad de agentes que van desde los productores pasando por las industrias hasta llegar a los consumidores (Barreiro, 1997).

Los rendimientos que se obtienen en México son muy variables, sin embargo, se tiene un promedio nacional de 2.5 ton por ha; una de las zonas que alcanza los mejores rendimientos es el Bajío (Guanajuato, Michoacán y Jalisco) con 10 ton de grano por ha (Jiménez, 1989). La producción de sorgo en México, compite por el uso del suelo básicamente con el maíz por lo que los productores deben tener en cuenta las ventajas y desventajas que técnicamente ofrecen ambos granos. Su participación en la agricultura es de gran importancia pues ocupa el segundo lugar en cuanto a producción, después del maíz y el tercer lugar en cuanto a superficie sembrada después del maíz y el frijol (Robles, 1983).

El sorgo grano ha sido considerado como un sustituto del maíz, ya que es utilizado en la preparación de alimentos balanceados, como alimento directo para aves, cerdos y bovinos, fuente de materia prima para la obtención de harina (almidón) y aceites, así como también en el aprovechamiento del rastrojo (esquilmo) para alimento de bovinos y equinos en menores proporciones (Cuberos, 1983).

La preferencia hacia el sorgo, en relación con otros cultivos, se debe principalmente por su amplia tolerancia a condiciones de baja humedad del suelo y porque es redituable aun en condiciones poco favorables; es un cultivo mecanizado desde la siembra a cosecha, y pueden establecerse variedades o híbridos de doble propósito, lo que mejora las posibilidades de ingreso para el productor (INIFAP-CIRNO-CESSI, 2004).

Principales Estados Productores de Sorgo en México

La producción nacional de sorgo presenta una alta concentración geográfica de temporal, no obstante que es un cultivo que prácticamente se siembra en todo el país. En términos de ubicación geográfica, alrededor del 85 % de las cosechas anuales se obtienen de cinco entidades federativas en orden de importancia es posible distinguir tres zonas; El Estado de Tamaulipas, Zona del Noreste (el principal productor nacional), Guanajuato, Michoacán, y Jalisco, Zona del Bajío, y Sinaloa Zona del Noroeste (Barreiro, 1997).

La producción nacional de sorgo grano, es más relevante en el ciclo P-V (Cuadro 1.3) ya que en este último año la participación es de 80.42 % de la cosecha total, y en el ciclo O-I solo se reporta la participación del estado de Tamaulipas con un 80.02%, representando el 90% de la producción nacional de ese ciclo (SIAP, 2007)

Cuadro 2.3: Principales Estados Productores de Sorgo en México por Ciclo.

Ciclo	P - V 2006/2006		O - I 2006/2007	
	Miles de Ton.	%	Miles de Ton.	%
Tamaulipas	326 439	10.19	1 704 564	80.02
Guanajuato	1 126 032	35.13	80	0.00
Sinaloa	379 743	11.85	27 515	1.21
Michoacán	534 081	16.66	15 899	0.75
Jalisco	211 138	6.59	5 373	0.25
Total Nac.	3 205 088	100.00	2 130 125	100.00

Fuente: Servicios de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), con información de las delegaciones de la SAGARPA en los Estados. Datos al 28 de Febrero del 2007.

Producción Obtenida

En México la producción obtenida de sorgo sigue siendo insuficiente por las altas demandas de la industria generadora de alimentos balanceados, en el año 2002 el rango de producción fue negativo en 1,360.6 miles de toneladas, esto a causa de la superficie cosechada y la interacción de otros factores en los sistemas de producción lo que obligo que del mercado exterior introdujera altas cantidades de sorgo. La cual repercute en la economía del país con grandes fugas de divisas, es una situación alarmante no solo por la cantidad de sorgo introducido sino porque los costos por tonelada se incrementan anualmente (SIAP, 2008)

En la **Figura 2.2** se puede observar el comportamiento de la producción en los últimos veintiocho años, notándose que en el año 2004 existió un aumento en la producción pero en el 2006 vuelve a disminuir considerablemente.

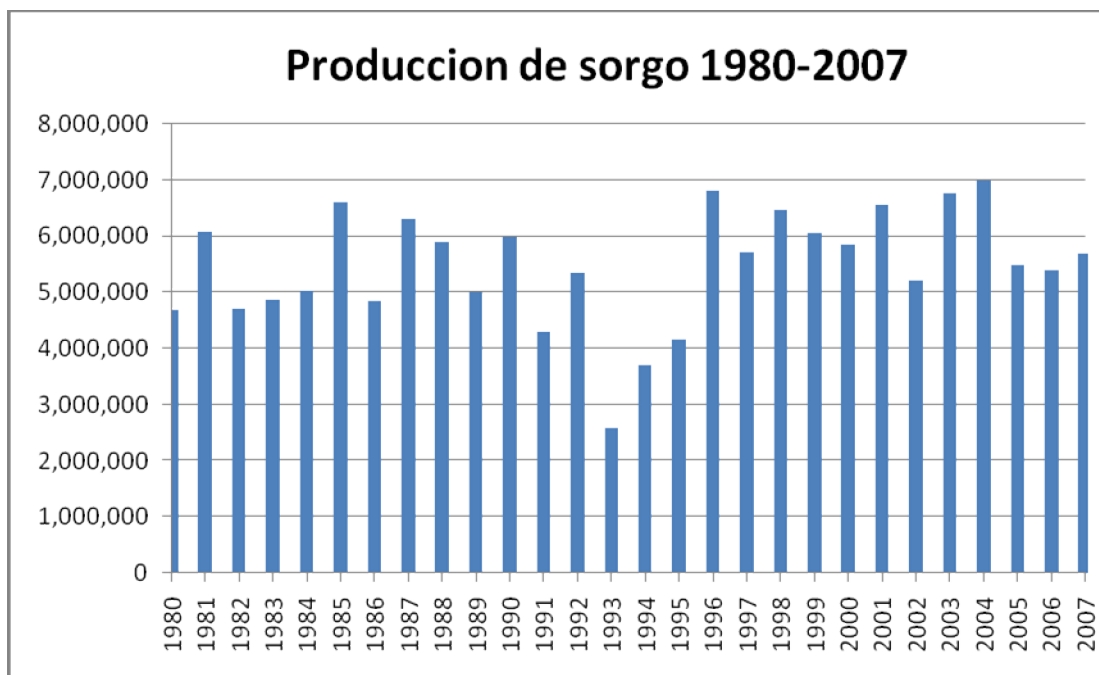


Figura 2.2: Producción Obtenida de Sorgo en México (1980-2007)

Fuente: Centro de Estudios de Finanzas Públicas 2001 y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera 2008.

Mejoramiento Genético

El mejoramiento genético de plantas ha incrementado la producción y calidad de los productos vegetales, a la vez que ha provocado uniformidad en los cultivos y disminución de la variabilidad genética de éstos, por lo que al sembrar una sola variedad o diferentes variedades relacionadas entre sí, se corren grandes riesgos en la producción, debido a la reducida base genética del cultivo, ya que pueden presentarse plagas o enfermedades con resultados desastrosos (Pecina *et al.*, 1995).

El desarrollo de materiales que mantengan un alto nivel de rendimiento y contenido nutricional en una diversidad de ambientes, constituye una de las metas más importantes en la mayoría de los programas de mejoramiento. Por ello el sorgo cuya capacidad, tanto morfológica como fisiológica de adaptación, es superior a otras especies, despertando el interés de los investigadores, quienes realizan estudios tendientes a encontrar en este cultivo mejores rendimientos y técnicas de producción, resistencia a enfermedades y plagas, además de ser económicamente accesible a toda la población, especialmente a los de bajos recursos (Herrera *et al.*, 2002).

Los métodos convencionales de fitomejoramiento han ofrecido a los fitomejoradores grandes progresos en el desarrollo de las variedades mejoradas; sin embargo, sólo una limitada proporción de la variabilidad genética disponible en el sorgo, ha sido explotada. Los adelantos en el mejoramiento de maíz, basados en la teoría de la genética cuantitativa, han ayudado a entender el uso de las metodologías avanzadas en el mejoramiento de población, utilizando en mayor grado la variabilidad genética (Valencia *et al.*, 2006).

Los programas de mejoramiento de plantas autógamias se han basado en la recombinación de progenitores sobresalientes para obtener, mediante la selección en generaciones segregantes y la evaluación y selección de líneas, mejores individuos que se convertirán en padres de la siguiente progenie. Esta metodología puede concebirse como un esquema de selección recurrente, que en ocasiones requiere mucho tiempo para lograr un ciclo de selección.

Por ejemplo en Dakota del Norte (U.S.A.), Holanda y Japón se requieren entre 7 a 11 años por ciclo de selección en cebada (*Hordeum vulgare* L); presentan el esquema de cruzamientos para la obtención de la línea Kauz de trigo (que posteriormente dio origen a la variedad Bacanora T88, recomendada para el noroeste de México), en el que se aprecia que se realizaron siete ciclos de selección en aproximadamente 35 años; por otra parte se invirtieron ocho años para obtener la línea que dio origen a la variedad de temporal M87 (Villaseñor *et al.*, 2002).

Díaz (2007), menciona los siguientes métodos de mejoramiento que pueden ser utilizados en cultivos autógamias:

- A) Métodos Sencillos: Bulk - Selección Masal
- B) Método Genealógico
- C) Métodos Acelerados: SSD y DH
- D) Retrocruzamiento

Sin embargo Cuberos (2003), menciona también los siguientes métodos de mejoramiento:

- A) Selección Individual: planta a línea o parcela.
- B) Selección Estratificada.
- C) Selección masal con cruzamientos: cruzamientos compuestos.

Una serie de técnicas moleculares de gran desarrollo en los últimos veinte años permiten conocer la información genética que los organismos portan. Funcionan como señaladores de diferentes regiones del genoma y se los conoce en forma genérica como marcadores moleculares. Son ampliamente utilizados en genética humana, vegetal, animal y microbiana. Permiten evidenciar variaciones (polimorfismos) en la secuencia del ADN entre dos individuos, modifiquen éstas o no su fenotipo (Pecina *et al.*, 2005).

En relación a los vegetales, los marcadores son de utilidad en estudios evolutivos y de genética poblacional, manejo de bancos de germoplasma, identificación, protección legal de germoplasma, mapeo, selección asistida por marcadores y clonado de genes (Pecina *et al.*, 2005). El rápido avance de la biología molecular ha permitido generar y usar información de marcadores moleculares para mapear loci cuyos alelos afectan caracteres cuantitativos (a estos loci generalmente se les denota por el acrónimo QTLs).

En el mejoramiento genético uno de los principales objetivos es identificar marcadores estrechamente ligados a los QTLs que puedan usarse para el mejoramiento de la característica deseada. Este ligamiento es indispensable para cualquier método de selección basado en marcadores. Además, es importante estimar la contribución que al valor genotípico de la característica puedan hacer los QTLs ligados al marcador (Romero *et al.*, 2004).

Endogamia o Consanguinidad

Una población se dice endogámica cuando existen en ellas cruzamientos entre individuos emparentados. La obtención de líneas consanguíneas ó endogámicas en vegetales significa obligatoriamente la autofecundación de plantas hermafroditas o forzar cruzamientos entre hermanos en animales durante varias generaciones. Esta situación conduce a:

- Las líneas endogámicas muestran reducido vigor y fertilidad.
- Las líneas endogámicas llegan a ser líneas puras.

Como consecuencia de autofecundaciones sucesivas o cruzamientos emparentados irán surgiendo homocigotos recesivos para muchos genes deletéreos (aquellos que tienen reducido su “ajuste” o eficacia biológica. Tienen disminuida la capacidad de supervivencia y también la de reproducirse) ó también letales; por lo que los individuos serán cada vez más débiles, menos fértiles y las líneas más difíciles de mantener. Las líneas donde aparezcan letales en homocigosis se perderán y tras varias generaciones de autofecundaciones forzosas no habrá letales pero podrán tener alelos deletéreos

(<http://www.unavarra.es/genmic/genetica%20y%20mejora/endogamia/endogamia.pdf>)

Consecuencia de la Endogamia

En especies autóгамas como trigo y avena la depresión por consanguinidad es mínima y los genotipos homocigotos se usan como cultivares para producción comercial.

En especies alógamas como el maíz los genotipos homocigotos se pueden producir rápidamente pero su rendimiento es menor que el de los cultivares híbridos que se usan para producción comercial.

La depresión por consanguinidad es severa en algunas especies poliploides (alfalfa) ya que los genotipos homocigotos no sobreviven.

(<http://www.unavarra.es/genmic/genetica%20y%20mejora/endogamia/endogamia.pdf>)

Fines de la Endogamia

Un propósito de la consanguinidad es el desarrollo de genotipos que se puedan mantener a través de múltiples generaciones para la producción de semilla.

Las variedades autógamas se reproducen en sucesivas generaciones sin cambios en su composición genética.

En plantas alógamas, la producción de semilla híbrida en una especie depende de la disponibilidad de líneas parentales consanguíneas que puedan mantenerse como tales.

La consanguinidad también se ha utilizado para reducir la frecuencia de genes deletéreos en genotipos que servirán de parentales en cultivares que se propagarán vegetativamente. Una generación de autofecundación permite la expresión y eliminación de genes deletéreos sin que se produzca una marcada depresión por consanguinidad sobre todo en aquellas que habrán de seleccionarse como parentales para el desarrollo de una población.

(<http://www.unavarra.es/genmic/genetica%20y%20mejora/endogamia/endogamia.pdf>)

Interacción Genotipo Ambiente

El estudio de la interacción genotipo-ambiente (IGA) es un tema de relevancia en la etapa final del mejoramiento genético, siendo uno de los factores determinantes en la selección y recomendación de cultivares evaluados en pruebas regionales de rendimiento, debido a que los patrones de respuesta de los cultivares no son uniformes a través de los diversos ambientes donde se evalúan.

Esta situación genera una dificultad en la selección de los mejores cultivares y en los casos donde la variación en el conjunto de datos es alta la media general no es suficiente para explicar la heterogeneidad de respuestas de cada cultivar en los ambientes evaluados.

Este problema crece proporcionalmente en la medida que se incrementa el número de cultivares y ambientes a evaluar. La situación anterior se presenta en los ensayos uniformes de rendimiento de cultivares de maíz, los cuales se han realizado continuamente desde el año 1960. En tal sentido, ante las recientes investigaciones y el surgimiento de nuevos métodos sobre IGA (Marin *et al*, 2008).

El modelo AMMI

AMMI determina la presencia de interacción genotipo-ambiente en una variable respuesta (rendimiento, enfermedad u otra variable), AMMI analiza los efectos principales aditivos e interacción multiplicativa mediante el análisis de variancia. AMMI hace uso de los componentes principales para expresar gráficamente como un Biplot o Triplot la interacción. AMMI es una herramienta muy útil para estudiar y caracterizar la presencia de interacción genotipo-ambiente y descubrir los genotipos menos afectados por los ambientes, lo que podría entenderse como la presencia estable del genotipo, (<http://tarwi.lamolina.edu.pe/~fmendiburu/AMMI.htm>).

El AMMI (Análisis de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa) es un modelo multivariado que combina en un sólo análisis al de varianza (ANOVA) y al de componentes principales (CP ó PC, en inglés). Las ventajas del AMMI son: El AMMI requiere de menos repeticiones y captura mejor la variación de tratamientos. Además se señala que la efectividad del AMMI se incrementa con el tamaño del ensayo y con la reducción del ruido (efectos no estructurales), que es uno de los componentes importantes en los datos que se toman en ensayos conducidos en varias localidades. Adicionalmente, un mayor número de genotipos pueden ser evaluados sin perder precisión, ni incrementar el costo de los experimentos (Castañon *et al.*, 2000)

MATERIALES Y METODOS

Localidad

Los experimentos se establecieron en dos localidades, siendo la primera localidad **(I)** el Ejido Luchana, municipio de San Pedro que se encuentra ubicado en la parte suroeste del Estado de Coahuila y limita al norte con el Municipio de Cuatrociénegas; al noroeste con el de Sierra Mojada; al sur con los de Viesca, Parras y Matamoros, al este con los de Parras y Cuatrociénegas y al oeste con los de Francisco I. Madero y Matamoros, dicho municipio se encuentra en las coordenadas geográficas: 102°58'58" longitud oeste y 25°45'32" latitud norte, a una altura de 1,090 metros sobre el nivel del mar. Cuenta con un clima predominante seco semicalido; la temperatura media anual es de 16 a 18°C; la precipitación media anual se encuentra en el rango de los 200 a 300 milímetros, con régimen de lluvias en los meses de Mayo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre y Octubre.

La segunda **(II)** localidad fue en el municipio de Valle Hermoso que se encuentra ubicado en la parte Noreste del estado de Tamaulipas y sus municipios mas cercanos son: al Este con Matamoros, al Oeste con Rio Bravo y al Sur con San Fernando, dicho municipio se encuentra en las coordenadas geográficas: 25°40' de latitud norte y a los 97°49' de longitud oeste, a 27 msnm. Valle Hermoso cuenta con un clima predominante Semicálido subhumedo, tipo de suelo es fluvisoles eútricos, la temperatura promedio es de 24°C, con mínimas de 2°C, con una precipitación pluvial anual de 600 mm y los meses más lluviosos van de julio a octubre.

Material Genético

El material genético que se uso para la evaluación y selección consiste en la descendencia de la crusa entre dos progenitores contrastantes los cuales son el RTx430 y la variedad denominada Sureño, de ambos progenitores se obtuvieron 135 líneas endogámicas recombinantes (LER), las cuales se formaron a través del método de descendencia de una sola semilla.

Sureño es una variedad de doble propósito (grano y forraje) con moderada resistencia al moho de grano, tiene un color de la planta canela y de glumas canela, la semilla de Sureño presenta un pericarpio traslucido.

RTx430 es una línea endogámica ampliamente adaptada con excelente habilidad combinatoria y un restaurador de fertilidad común en muchos híbridos de sorgo comercial. RTx430 es altamente susceptible a moho de grano y a muchas enfermedades foliares. El grano es blanco con un endospermo amarillo. RTx 430 es una línea triple enana con un color de planta púrpura. Estas líneas se escogieron por ser muy contrastantes entre si por lo cual la población resultante de esta cruce segregaría para muchas características.

Los ensayos para las siembras se prepararon en el laboratorio, esto consistió en separar la semilla original colocando una cantidad similar de semillas en cada sobre, los cuales cada uno se utilizo en una repetición durante la siembra en campo.

Labores Culturales

La primera labor que se realizo, fue el barbecho del suelo, el cual debe ser lo más profundo posible con la finalidad de romper el suelo.

Posteriormente se hizo el rastreo cruzado para desmenuzar los terrones con fin de poder obtener una buena cama de siembra.

Posteriormente se realizo la nivelación y por último el surqueo, que se hizo para facilitar el riego de la planta y la siembra.

Siembra

Las parcelas experimentales constaron de surcos sencillos de 4 metros de largo y una distancia de 80 cm entre cada surco, donde cada surco fue sembrado con una LER diferente, lo que dio un total de 270 surcos o unidades experimentales para cada localidad.

Para realizar el trazo de las parcelas y calles en campo, se utilizó una cinta métrica para medirlas, las cuales posteriormente fueron marcadas con cal, esto facilitó el trabajo y permitió que quedara bien delimitada cada parcela antes de la siembra.

La siembra se llevó a cabo en la localidad I el día 16 de febrero y en la localidad II el día 10 de abril, ambas sembradas en el año 2006, se realizó en forma manual a chorrillo depositándose la semilla de cada sobre o tratamiento en un surco tapándose con el pie procurando que la profundidad de la semilla fuera de 5 cm.

Fertilización

Se aplicó una dosis de fertilización de 140-60-00, fraccionada o sea la mitad del nitrógeno y todo el fósforo al momento de la siembra y la otra mitad del nitrógeno durante el primer cultivo.

Se llevó a cabo un aclareo cuando la planta tenía aproximadamente 15 cm de altura, dejando una distancia entre planta y planta de 10 cm. aproximadamente, esto con el fin de disminuir competencia entre plantas. Fue necesario llevar a cabo deshierbes manuales cuando las plantas estaban completamente desarrolladas. Posteriormente se llevó a cabo el etiquetado de las plantas de las dos repeticiones.

VARIABLES EVALUADAS

Se midieron diferentes variables entre ellas:

- **Altura de planta;** se midió en cm., se midió desde la superficie del suelo hasta la punta de la panoja, midiendo cuatro plantas por surco tomadas al azar.
- **Excursión;** se midió en cm, midiendo la distancia que hay a partir de la base de la hoja bandera hasta la base de la panoja, midiendo cuatro plantas por surco tomadas al azar.
- **Diámetro del tallo;** se determinó en cm., midiendo la zona basal de cuatro plantas por surco tomadas al azar, para esto se usó un vernier.

- **Dulzura de tallo;** se midió en grados Brixs, con la ayuda de un refractómetro óptico portátil, midiendo cuatro plantas por surco tomadas al azar.
- **Largo de hoja bandera;** se midió en cm., tomando como referencia el largo de la hoja bandera, midiendo cuatro plantas por surco tomadas al azar.
- **Ancho de hoja bandera;** se midió en cm., tomando como referencia el ancho de la hoja bandera, midiendo cuatro plantas por surco tomadas al azar.

Una semana antes de la cosecha se hizo la toma de datos de las plantas de sorgo, la cosecha se llevo a cabo en forma manual cortando la panoja con unas tijeras. Esta actividad se llevo a cabo para la localidad I el día 6 y 7 de junio y posteriormente se cosecho en la localidad II el día 10 y 11 de agosto.

Diseño Experimental

La siembra se realizo bajo un diseño de α -latice 9 x 15 con dos repeticiones en cada uno de los ambientes de prueba.

Análisis Estadístico

La información de las dos localidades de evaluación se analizó como bloques combinados sobre localidades con dos repeticiones, el cual se llevo a cabo utilizando el programa SAS. Se considero a los genotipos como un efecto fijo y a los ambientes como una muestra aleatoria comparando la prueba de F contra el anidamiento de repeticiones dentro de ambientes, cuyo modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + R_j + (A_i)G_k + A_i G_k + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Valor observado de la j-ésima repetición anidada en el i-ésimo ambiente en el i-ésimo en el k-ésimo genotipo.

μ = Efecto de la media general

A_i = Efecto del i-ésimo ambiente

$R_j(A_i)$ = Efecto de la j-ésima repetición anidada en el i-ésimo ambiente

G_k = Efecto de k-ésimo genotipo

$A_i G_k$ = Efecto de la interacción del i-ésimo ambiente del k-ésimo genotipo

E_{ijk} = Efecto del error experimental

Además para cada una de las variables evaluadas se estimó la media, el rango y el coeficiente de variación.

Media

Es el Promedio de los datos de cada variable, calculada como:

$$\bar{\chi} = \frac{\sum \chi}{n}$$

Donde:

$$\bar{\chi} = \text{Media}$$

$$\sum \chi = \text{Suma de los Datos}$$

$$n = \text{numero de datos}$$

Rango

Es la diferencia entre el valor más alto observado y el valor más bajo observado;

$$\text{Rango} = \text{Valor más Alto} - \text{Valor más Bajo}$$

Coeficiente de variación

Se estimó utilizando la siguiente fórmula:

$$C. V. = \frac{\sqrt{C.M.E.E.}}{\bar{X}} \times 100$$

Donde:

C.V. = Coeficiente de variación.

C.M.E.E. = Cuadrado medio del error experimental.

X. = Media general.

Análisis AMMI

El análisis multivariado AMMI se analizó mediante el programa propuesto por Vargas & Crossa (2000), el cual parte del siguiente modelo, según Zobel *et al*, (1988)

$$Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + R_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Valor observado del i-ésimo genotipo en el j-ésimo ambiente

μ = Media general

g_i = Media del i-ésimo genotipo menos la media general

a_j = media del j-ésimo ambiente menos la media general

λ_k = Raíz cuadrada del valor característico del k-ésimo eje del análisis de componentes principales (ACP)_k

$\alpha_{ik} \gamma_{jk}$ = Calificaciones del ACP para el k-ésimo eje del i-ésimo genotipo y el j-ésimo ambiente

R_{ij} = Residual del modelo

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 4.1, puede observarse que la mayoría de las variables en estudio mostraron diferencias altamente significativas para casi todas las fuentes de variación a excepción de largo y ancho de la hoja bandera que resultaron no significativas en la interacción. Lo anterior indica que los materiales bajo evaluación tuvieron un comportamiento diferencial en los dos ambientes de prueba, lo que refleja su significancia entre los valores fenotípicos producto de sus diferencias genéticas.

Cuadro 4.1.- Cuadrados medios y significancias de seis variables de sorgo evaluadas en Valle Hermoso, Tamaulipas y San Pedro, Coahuila, durante el ciclo PV 2006.

Fuente	Gl	Altura (m)	Diámetro de tallo (cm)	Excercion (cm)	Dulzura (°Brix)	Largo HB (cm)	Ancho HB (cm)
Ambiente	1	0.92918519 **	20.30016667 **	197.89557 **	519.792667 **	3526.66667 **	38.3466852 **
Rep. (Amb)	2	0.00607407 ns	0.30490741 *	101.09113 **	52.955333 **	114.41852 ns	5.5496481 **
Genotipo	134	0.27298010 **	0.23374655 **	74.70050 **	19.957744 **	131.38535 **	2.6307416 **
Amb*Gen	134	0.04105086 **	0.12680846 **	19.39535 *	15.585726 *	77.98010 ns	1.4246703 ns
Error		0.02241736	0.07725815	13.98356	11.032124	65.06404	1.1272228

*, ** Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente.

Altura de Planta

En esta variable, se encontraron diferencias altamente significativas para *ambientes*, *genotipos* y *ambiente entre genotipo*, esto último indica la existencia de interacción entre los materiales evaluados y los ambientes de prueba. A diferencia de la fuente de variación *repetición por ambiente* la cual resulto no significativa (Cuadro 4.1).

El coeficiente de variación en esta variable fue de 10.57 por ciento, la media obtenida fue de 1.4 m, presentando un rango de 1.2 m, encontrándose de manera general el valor más alto para esta variable en la línea RIL053 con 2.0 m. y el valor más bajo lo presento la línea RIL072 con 0.8m. Por otro lado se encontraron 60 líneas con una altura superior a la media y 50 debajo de la media (Cuadro 4.2).

Cuadro 4.2.- Coeficiente de Variación (C.V.), Media (μ), Rango, Valor más Bajo y más Alto, Valores Arriba de la Media y Valores de Bajo de la Media, de seis variables de sorgo evaluadas en Valle Hermoso, Tamaulipas y San Pedro, Coahuila, durante el ciclo PV 2006.

Fuente	Altura (m)	Diámetro de tallo (cm)	Excercion (cm)	Dulzura (°Brix)	Largo HB (cm)	Ancho HB (cm)
C.V.	10.57	15.03	56.61	21.86	20.59	18.03
Media (μ)	1.41	1.84	6.60	15.18	39.17	5.88
Rango	1.2	1.3	19.5	13.3	32.2	4.2
V. más bajo	0.8	1.2	0.0	8.5	25.8	4.1
V. más alto	2.0	2.5	19.5	21.8	59.0	8.3
Arriba μ	85	66	61	76	68	75
Abajo μ	50	69	74	59	67	60

Respecto a los ambientes, esta variable mostro la media más alta en la localidad de San Pedro con un valor de 1.45 m, mientras que en Valle Hermoso se obtuvo una media general de 1.37m.

En relación a las líneas progenitoras (Cuadro 4.3) la variedad Sureño obtuvo los valores mas altos en ambas localidades siendo en San Pedro donde obtuvo un promedio de 1.93m y 1.6 en Valle Hermoso. De igual forma la línea RTx430, obtiene su valor más alto (1.13m) en esta localidad, comparado con el obtenido en Valle Hermoso que fue de (1.03m).

Se observaron genotipos con valores más bajos y más altos que los progenitores más bajos y altos respectivamente, (Cuadro 4.2 y 4.3). Esto coincide con lo encontrado por Sánchez (2006), quien evaluó estos mismos materiales bajo condiciones de invernadero encontrando en ellos una segregación transgresiva en una gran cantidad de variables incluyendo todas las que se evaluaron en el presente trabajo.

Olmos (1989), menciona que la altura de planta de este cultivo es de importancia dentro de los sorgos productores de grano y forraje, de tal manera que las plantas de porte intermedio o bajo facilitan la cosecha mecánica y sobre todo permiten aumentar la densidad de población por unidad de área y por consecuencia directa aumenta el rendimiento y las plantas de porte alto producen mayor cantidad de forraje.

Por otra parte Castañón (1986) menciona que es importante tomar en cuenta la altura de planta de sorgo según los fines del productor ya que si la planta es alta puede utilizarse tanto el grano como el forraje para el ganado y si nada más se requiere buena producción de grano se puede utilizar materiales productivos y de altura adecuada.

Cuadro 4.3: Valores Medios (μ) de localidades y progenitores , obtenidos en seis variables de sorgo evaluadas en Valle Hermoso, Tamaulipas y San Pedro, Coahuila, durante el ciclo PV 2006.

Localidad y Progenitores	Altura (m)	Diámetro de tallo (cm)	Excersion (cm)	Dulzura (°Brixs)	Largo HB (cm)	Ancho HB (cm)
Valle Hermoso	1.4	1.6	7.2	14.2	41.8	6.2
Sureño	1.6	1.76	10.36	18.5	46.8	6.83
RTx430	1.03	1.76	8.03	12.43	46.8	6.16
San Pedro	1.4	2.0	5.9	16.3	36.2	5.6
Sureño	1.93	1.93	6.4	20.33	38.6	6.3
RTx430	1.13	2.36	7.6	13.66	35.16	5.2

Diámetro del Tallo

En esta variable se encontraron diferencias altamente significativas para *ambientes*, *genotipos* y *ambiente por genotipo* a excepción de *repetición por ambiente* que mostro solo diferencias significativas.

Se obtuvo un coeficiente de variación de 15.03 por ciento, con una media de 1.84cm, con un rango de 1.3cm desde el valor mayor que presento la línea RIL029 con 2.53cm y el valor más bajo encontrado en la línea RIL092 con 1.28cm. Encontrándose 65 LER por arriba de la media y 69 LER por debajo de la media (Cuadro 4.2).

En los ambientes, esta variable mostro la media más alta en la localidad de San Pedro con un valor de 2.04cm, mientras que en Valle Hermoso se encontró una media general de 1.65cm.

Respecto a las líneas progenitoras la variedad Rtx430 obtuvo los valores más altos en San Pedro, siendo en esta localidad donde obtuvo un promedio de 2.36cm, de igual forma la línea RTx430 y Sureño, obtuvieron el valor más bajo en Valle Hermoso (1.76cm) en esta localidad se comportaron de la misma forma ambos progenitores. Además se observan genotipos con valores más bajos y más altos que los progenitores más bajos y altos respectivamente (Cuadro 4.2 y 4.3).

Esterri *et al.*, (2005), mencionan que el diámetro del tallo del cultivo de sorgo tiene una gran importancia como fuente alternativa de carbono cuando la fotosíntesis durante el período de llenado de grano es inhibida por algún tipo de estrés.

Dulzura de Tallo

El análisis de varianza para esta variable (Cuadro 4.1), indicó diferencias altamente significativas para *ambientes*, *repetición por ambientes* y *genotipos*, a diferencia de *ambiente por genotipo* que mostro solo diferencias significativas.

Se obtuvo un coeficiente de variación que fue de 21.86 por ciento, con una media de 15.18°Brix, generándose un rango de 13.3, el valor más alto fue de 21.8°Brix encontrado en la línea RIL061 y el valor más bajo fue de 8.5°Brix presente en la línea RIL120, de igual forma se encontraron 75 LER con una dulzura superior a la media y 59 por debajo de la media.

En consideración a los ambientes, en esta variable se encontró la media más alta en San Pedro con un valor de 16.17°Brix, mientras que en Valle Hermoso presento la media general más baja con un valor de 14.20°Brix.

En las líneas progenitoras la variedad Sureño obtuvo los valores más altos en ambas localidades, (Cuadro 4.3) siendo en San Pedro donde se obtuvo un promedio de 20.33°Brix. De igual forma la línea RTx430, obtiene su valor más alto (13.66°Brix) en esta misma localidad comparado con el obtenido en Valle Hermoso de (12.43°Brix). Además se encontraron genotipos con valores más bajos y más altos que los progenitores más bajos y altos respectivamente.

Romero *et al.*, (2001) mencionan que los sorgos forrajeros y especialmente los híbridos azucarados presentan muy buenas características para ser utilizados para silaje con alta producción de materia seca, aceptable calidad y muy buena conservación debido al alto contenido de azúcar que poseen en el tallo. En la actualidad en algunos lugares también están siendo utilizados para la producción de etanol.

Excursión

El ANVA, mostró diferencias altamente significativas para *ambiente*, *repetición por ambiente* y *genotipos* a diferencia de *ambiente por genotipos* que mostro solo diferencias significativas.

El coeficiente de variación obtenido fue de 56.61 por ciento considerándose un valor alto para dicha variable, se obtuvo una media 6.60cm y un rango de 19.5cm entre el valor más bajo que fue de 0.0cm, el cual se observo en la línea RIL088 y el valor más alto que fue de 19.5cm presente en la línea RIL041. Resultaron 59 LER por arriba de la media y 74 LER por debajo de la media (Cuadro 4.2).

De acuerdo a los ambientes, en esta variable se encontró la media más alta en Valle Hermoso con un valor de 7.21cm, mientras que San Pedro presento la media general más baja con un valor de 6.00cm.

En relación con los progenitores, la variedad Sureño obtuvo el valor más alto en Valle Hermoso, (Cuadro 4.3) donde presento una media de 10.36cm. De igual forma la línea RTx430, obtuvo su valor más alto (8.03cm) en esta localidad comparada con el obtenido en Valle Hermoso (7.6cm).

De acuerdo a lo anterior, Loya (1986), menciona que la excursión es una característica de relativa importancia para muchos agricultores, ya que no solo requieren de materiales más rendidores sino que muestren buena excursión, ya que esta encuentra su aplicación en la cosecha mecánica, debido a que la excursión larga permite obtener una trilla más limpia lo cual es importante desde el punto de vista comercial de la semilla de las líneas como un factor de calidad.

Largo de Hoja Bandera

Esta variable presentó diferencias altamente significativas para *ambientes* y *genotipos*, pero se obtuvo no significancia para *repeticiones por ambientes* y *ambiente por genotipos* entre las LER, indicando que al menos en esta variable los materiales no

mostraron interacción con los ambientes de prueba, lo anterior no concuerda con lo encontrado por Nolasco (2001), quien evaluó componentes de rendimiento en sorgo, encontrando que la longitud de hoja bandera de los genotipos varía de acuerdo con el ambiente de prueba, así también menciona que es el comportamiento diferencial que exhiben los genotipos cuando se les somete a diferentes ambientes.

Para la presente variable se obtuvo un coeficiente de variación de 20.59 por ciento, una media de 39.17cm, encontrándose la mayor longitud de 59.0cm. en la línea RIL134, y la línea de menor longitud fue la RIL028 con 25.8cm, lo que origino un rango para esta variable de 32.2cm. De igual forma se observaron 68 LER arriba de la media y 67 LER por debajo de la media (Cuadro 4.2)

En comparación a los ambientes, en esta variable, se encontró la media más alta en Valle Hermoso con un valor de 41.72cm, mientras que San Pedro presento la media general más baja con de 36.61cm.

En relación a las líneas progenitoras la variedad Sureño y Rtx430 obtuvieron los valores más altos en Valle Hermoso, (Cuadro 4.3) donde ambos presentaron una media de 46.8cm. En San Pedro, Sureño presento un valor de 38.6 cm y la línea RTx430 35.16cm.

La hoja bandera de mayor longitud contribuye a una alta capacidad de rendimiento, se sospecha que el carácter de permanencia verde, que envuelve una tasa fotosintética inusualmente alta y que acentúa el contenido de nitrógeno y clorofila, está críticamente involucrado. El carácter de permanencia verde es tal, que sus hojas son normales y funcionales al momento de la maduración fisiológica del grano, (Jennings *et al*, 2002).

Ancho de Hoja Bandera

Los resultados del Análisis de Varianza para esta variable, mostraron diferencias altamente significativas, para las fuentes *ambiente*, *repetición por ambiente* y *genotipo*, pero la interacción *ambiente por genotipo* mostro no significancia, de la misma forma que la variable largo hoja bandera. El coeficiente de variación fue de 18.03 por ciento y una media de 5.88 cm, donde el valor más alto fue de 8.3 cm presentado por la línea RIL075, y el valor

más bajo 4.1 cm., encontrando en la línea RIL076, además se obtuvo un rango de 4.2 cm. de la misma manera se obtuvieron 69 LER por arriba de la media y 60 LER por debajo de la media (Cuadro 4.2).

En los resultados de esta variable en los ambientes, se encontró que la localidad de Valle Hermoso obtuvo la media más alta con un valor de 6.15cm, mientras que la media más baja se obtuvo en San Pedro con un valor 5.62cm.

De las líneas progenitoras la variedad Sureño obtuvo los valores más altos en ambas localidades, (Cuadro 4.3) siendo en Valle Hermoso donde obtuvo un promedio de 6.83cm. De igual forma la línea RTx430, obtiene su valor más alto (6.16cm) en esta localidad comparado con el obtenido en San Pedro de (5.2cm). Además se observan genotipos con valores más bajos y más altos que los progenitores más bajos y altos respectivamente.

La hoja bandera es de gran importancia ya que conforma aproximadamente el 75% del área foliar que efectivamente contribuye al llenado del grano. Si es ancha y erecta es válida y puede ser un objetivo de mejoramiento con gran potencial para el incremento en la capacidad de rendimiento (Travis, 1992).

En relación a los resultados mencionados anteriormente los cuales muestran un comportamiento diferencial de las LER entre las dos localidades, se puede mencionar que la localidad de San Pedro posiblemente fue la que presentó las mejores condiciones para el desarrollo de este cultivo, así lo demuestran los resultados de las variables dulzura, diámetro de tallo y altura de planta, ya que estas obtuvieron los valores más altos dicha localidad.

De igual forma en la localidad de Valle Hermoso se encontró que las variables excursión, largo de hoja bandera y ancho de hoja bandera mostraron los valores mas altos. En relación a lo anterior se puede mencionar que el resultado obtenido en la variable excursión pudiera indicar algo de escasez de agua o escasez de precipitación pluvial o simplemente las condiciones agroclimáticas en las que se desarrollo el cultivo no fueron las mas adecuadas las cuales pudieron haber afectado su desarrollo.

El estado de Tamaulipas es el mayor productor de sorgo a nivel nacional, no porque tenga las mejores características agroclimáticas, si no por la gran extensión que se siembra

de este cultivo en dicho estado, lo cual hace que obtenga grandes volúmenes de producción, esto no quiere decir que obtenga los mejores rendimientos según Pastrana, (2007).

Selección

De acuerdo con el comportamiento y los resultados obtenidos en las líneas evaluadas, se llevo a cabo una selección de materiales que pudieran ser utilizados como variedades con potencial para producción de; forraje y etanol, de tal forma se selecciono el RIL129 y RIL101 porque obtuvieron los mejores valores, en cuanto a dulzura, está a su vez asociada con buenos diámetros de tallo y buenas alturas de planta, lo anterior concuerda con lo mencionado por Romero *et al.*, (2001) quienes consideran cuales deben de ser las características mas apropiadas para las variedades útiles en la producción de etanol.

Otro aspecto importante de acuerdo con ICRISAT, (2004) menciona que el desarrollo del tallo alto da por consiguiente altos rendimientos, lo cual ofrece variedades e híbridos más ricos en azúcar. De igual manera se puede mencionar que estas mismas líneas también tienen potencial para ser utilizadas para la producción de forraje o bien como variedades de doble propósito.

Para la producción de forraje se selecciono el RIL062, RIL143, RIL129, RIL082 y RIL101 ya que presentaron las mejores alturas de plantas asociadas con buenos grados Brix y un diámetro de tallo por arriba de la media.

Interacción Genotipo Ambiente (IGA)

En los resultados del análisis AMMI se pudo apreciar un comportamiento muy similar de las líneas en los dos ambientes. En todas las variables el primer componente explico el 100% de la varianza (Cuadro 4.4)

Cuadro 4.4 – Cuadrados medios del análisis de AMMI en 6 variables de sorgo evaluadas en 2 ambientes durante el ciclo P-V 2006.

FV	GL	Altura	Diámetro de tallo	Dulzura	Excercion	Largo HB	Ancho HB
Gen * Amb	134	0.04268	0.1216	30.114	19.634	83.82	1.4558
Componente 1	134	0.42678	0.12155	30.1136	19.6339	83.8197	1.4558
%		100	100	100	100	100	100

Respecto a los ambientes en la Figura 4.1 de la variable altura, se puede observar que el ambiente dos (San Pedro, Coah.) mostró una interacción negativa, situación que se repitió en el resto de las variables consideradas, por lo anterior solo se incluye dicha grafica.

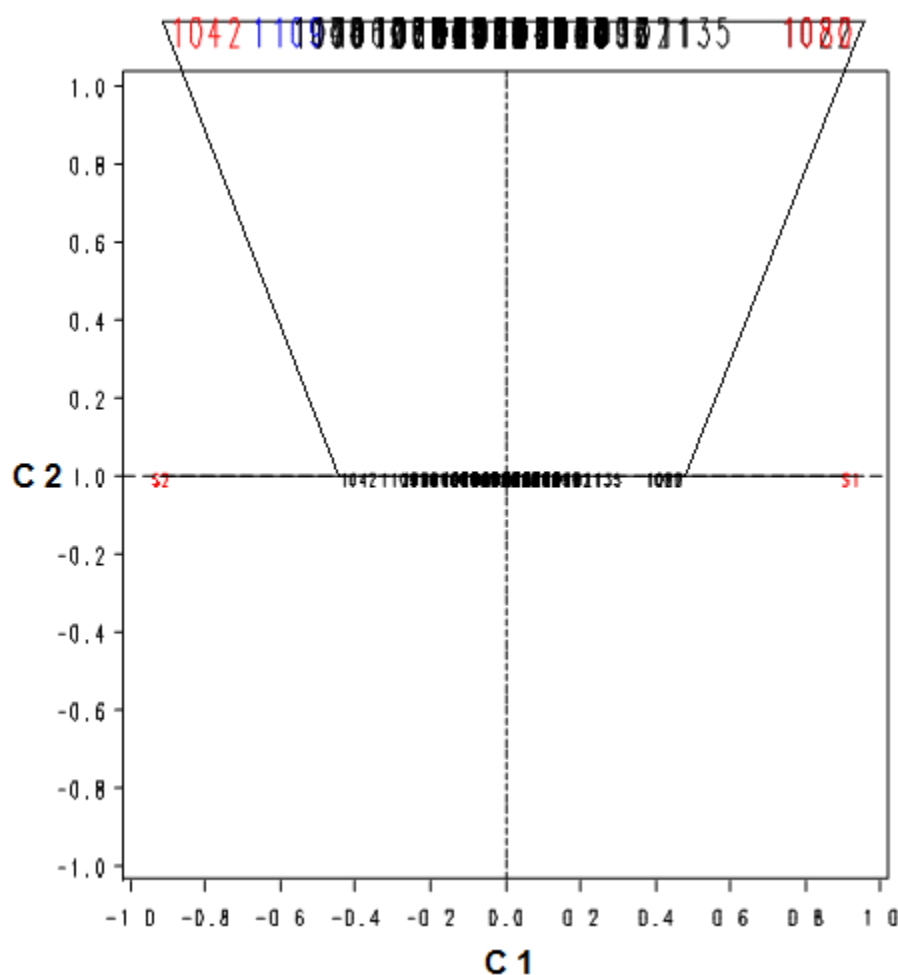


Figura 4.1 - Distribución de las LER en los ambientes de evaluación para la variable altura de planta, de acuerdo con el análisis AMMI.

Así mismo se detectaron algunas líneas que se comportaron de manera similar en los dos ambientes, Cuadro 4.5, de los resultados de dicho cuadro destacan el RIL050 y RIL027 que en las variables altura y dulzura tuvieron la misma respuesta en el ambiente dos (San Pedro, Coah.), de igual forma el RIL089, RIL133 y RIL147, las cuales en las mismas la variable altura y dulzura manifestaron las misma respuesta en el ambiente uno (Valle Hermoso Tamp.).

Cuadro 4.5 – Comportamiento de algunas LER en dos ambientes de prueba en seis variables evaluadas en el ciclo P.V. 2006.

Ambientes	Altura	Diámetro de tallo	Dulzura	Excursión	Largo HB	Ancho HB
1	RIL089	RIL125	RIL089	RIL141	RIL058	RIL058
	RIL133		RIL133			
	RIL147		RIL147			
			RIL107			
2	RIL050	RIL124	RIL050	RIL132	RIL087	RIL043
	RIL027		RIL027		RIL078	RIL138

CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos planteados y los resultados obtenidos se pueden deducir las siguientes conclusiones:

Los resultados de la evaluación sugieren que existe una gran variabilidad genética entre las LER evaluadas.

Excepto en largo y ancho de hoja bandera, todas las variables consideradas en el presente trabajo mostraron interacción genotipo ambiente de las LER.

La evaluación permitió seleccionar LER con potencial para ser utilizadas como variedades o líneas progenitoras de híbridos para la producción de forraje y etanol, con base al contenido de azúcar, altura de planta y diámetro de tallo.

LITERATURA CITADA

Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. 2008. Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación. Delegación Miguel Hidalgo, México, Distrito Federal.

[En línea]: <http://www.siap.gob.mx/AnxInfo/P131.pdf>

ASERCA. 2002. Producción mundial de granos forrajeros. Ficha técnica no. 6

[En línea]: <http://www.infoaserca.gob.mx/fichas/ficha06-GranosForrajeros.pdf>

Barreiro, P. M. 1997. El sorgo mexicano: entre la autosuficiencia y la dependencia externa. Revista Claridades Agropecuarias. Numero 46.

[En línea]: <http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/046/ca046.pdf>

Capton I. P. 1990. Agronomía del Sorgo. Ed. Trillas. México.

Castañon, G. Zetina, R. Arano, R. y Raygoza, B. 2000. El AMMI y Cluster en la selección de los mejores híbridos experimentales de maíz. Agronomía mesoamericana 11(1): 71-76. En línea: http://www.mag.go.cr/rev_meso/v11n01_071.pdf

Castañon, M. Ma. D. 1986. Estudio de Correlaciones Fenotípicas y Parámetros de Estabilidad en 10 Materiales de Sorgo para Grano. Tesis de Licenciatura. División de Agronomía. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México.

Centro de Estudios de Finanzas Públicas. 2001. Producción Nacional y Estatal de los Diez Granos Básicos 1980-1999. Palacio Legislativo de San Lázaro, D.F. Mexico.

[Online]: <http://www.cefp.gob.mx/intr/edocumentos/pdf/cefp/cefp0032001.pdf>

Chittenden, M., K. Schertz and A.H. Paterson. 1994. A detailed RFLP map of *Sorghum bicolor* x *S. propinquum*, suitable for high-density mapping, suggests ancestral duplication of *Sorghum* chromosomes chromosomal segments. Theor Appl Genet 87: 825-933.

- Consumer. 2005. El sorgo, un cereal poco conocido. [En línea]:
http://www.consumer.es/web/es/alimentacion/aprender_a_comer_bien/alimentacion_alternativa/2005/03/31/140820.php
- Cuberos, J. I. 2003. Introducción a la Mejora Vegetal. Segunda Edición. Editorial Mundi-Prensa. España. Pág.: 101-136, 209-223.
- De La Cruz, S. R. 2007. Un cultivo energético alternativo para la producción de etanol y coproductos. Sancti Spiritus, Cuba.
[En línea]: <http://www.monografias.com/trabajos51/sorgo-dulce/sorgo-dulce2.shtml>
- Díaz L. J. E. 2007. Mejoramiento Genético de Cebada, INIA. La Estanzuela. Curso de Fitotecnia 2007. Facultad de Agronomía.
- Duthil, J. 1976. Producción Forrajes. Ed. Mundi Piensa, Madrid España.
- Espinosa, P. M. Enriquez, R. S. Cervantes, M. A. y González, C. M. 2003. Identificación de las Demandas Tecnológicas de la Cadena Agroalimentaria de Sorgo. Fundación Produce Querétaro. Mexico.
[En línea]: <http://www.snitt.org.mx/pdfs/demanda/sorgo.pdf>
- Esterri, J. E. Martínez, R. F. Valentinuz, O. y Díaz, M. G. 2005. Desarrollo y Determinación del Rendimiento de Genotipos de Sorgo Granífero ante cambios en la oferta de Nitrógeno. INTA Paraná. Argentina
- FAO, 1995. El Sorgo y el mijo en la nutrición humana: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. FAO (ed) Alimentación Nutrición No. 27. Roma. Italia. [Online]: www.fao.org/docrep/T0818S/T0818S00.htm
- Frankel A. M. 1984. Conservación de forrajes en México. Ed. Albatros.

- Galván, B. E. 2004. Evaluación de híbridos experimentales de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), en la región del Bajío. Tesis de Licenciatura. División de agronomía. Universidad Autónoma Agraria, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Gutiérrez, T. J. 2003. El cultivo del sorgo (*sorghum vulgare spp.*). Monografía de Licenciatura. División de agronomía. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Herrera, A. J. L. Panuco, V. M. Chávez, A. J. L. y Rodríguez, G. A. 2002. Variedad de Sorgo para Grano con Potencial para su Utilización en el Consumo Humano. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Hughes, H.D. 1984. Forrajes. Ed. Continental, México.
- INIFAP-CIRNO-CESSI. 2004. Guía para la Asistencia Técnica Agropecuaria para el Área de Influencia del Campo Experimental Sur de Sinaloa. Agenda Técnica. Segunda Edición, Mazatlán, Sinaloa, México. 170 p. [En línea]: http://www.fps.org.mx/imagenes/tecnologica/sur/temporal/pdf/sorgo_grano.pdf
- Jennings, R. P., Berrio, E. L., Torres, E. y Corredor E. 2002. Una estrategia de mejoramiento para incrementar el potencial de rendimiento en arroz. [En línea]: <http://www.ciat.cgiar.org/biblioteca/pdf/flar/estrategia.pdf>
- Jiménez, H. F. 1999. Evaluación de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) con potencial para alimentación humana. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. p 14-65.
- Jiménez, M. A, 1989. "La producción de forrajes en México", Talleres, U. A. Chapingo, México. Pp. 100
- Loya, R. H. 1986. Estudio Comparativo de 8 Características de Sorgo para Grano Bajo 2 Ambientes, Riego y Temporal. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

- Manual del Cultivo de Sorgo. 2008. Cargill. Origen del cultivo de sorgo. Santiago del Estero 1071 (5900) Villa María, Córdoba – Argentina.
[En línea]:http://www.agrobit.com/Info_tecnica/agricultura/sorgo/AG_000009sg.htm
- Marin, R. C. San Vicente, F. Bejarano. A. y Segovia. V. 2008. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA-CENIAP). Maracay, Venezuela. [En línea]:
<http://ceniap.gov.ve/pbd/Congresos/jornadas%20de%20maiz/6%20jornadas/ponencias/Geneticaymejoramiento/cmarin.htm>
- Nolasco. R. O. 2001. Evaluación de 14 Genotipos de Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) con Potencial para Alimentación Humana. Tesis de Licenciatura. División de Agronomía. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Olmos, T. O. D. 1989. Estimación de las correlaciones fenotípicas y genéticas características en sorgo para grano (*Sorghum bicolor* L. Moench). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Pastrana, O. M. 2007. Monografía del sorgo. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla, México. [En línea]:
<http://www.sdr.gob.mx/beta1/contenidos/CadenasAgropecuarias/docs/927148.235.138.1326-07-2007MONOGRAFIA%20SORGO.pdf>
- Pecina, Q. V. Maldonado, H. L. Maldonado, M. N. Simpson, J. Martínez, V. O. y Gil, V. K. C. 2005. Diversidad genética en soya del trópico húmedo de México determinada con marcadores AFLP. Revista Fitotecnia Mexicana. 28(001):63-69 [En línea]:
<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=61028109>
- Pecina, V. Navarro, E. Williams, H. y Rodríguez, R. 1995. Comportamiento Agronómico de Dos Sistemas de Androesterilidad en Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). Agronomía Mesoamericana 6: 104-110. México.
- Robles S. R. 1983. Producción de granos y forrajes. Cuarta Ed. Editorial Limusa. México.

Robles. S. R. 1990. Genética Elemental y Fitomejoramiento Práctico. Ed. Limusa. México.

Romero, L., Arrona S. y Comeron E. 2002. El Sorgo Forrajero ¿puede ser un Sustituto del Maíz? [Enlínea]: <http://www.elsitioagricola.com/articulos/romero/Lecheria%20-%20El%20Sorgo%20Forrajero%20como%20Sustituto%20del%20Maiz%20-%202002.asp>

Romero, L. Gaggiotti, M. y Comerón, E. 2001. Sorgo forrajero azucarado para silaje: efecto de la distancia entre surcos y la densidad de siembra. INTA EEA Rafaela. Argentina.

Romero, P. J. M., Sahagún, C. J. Ramírez, V. G. y Rendón, S. G. 2004. Índice de selección genotípica apoyado en marcadores moleculares ligados. Agrociencia. 38(003):293-303 [Online]: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=30238304>

Sanchez, L. J. L. 2006. Características Cualitativas y Cuantitativas de 130 Líneas Endogámicas Recombinantes F2:7, de Sorgo para Grano (*Sorghum bicolor* L. Moench) y de sus Dos Progenitores (Sureño y RTx430). Tesis de Licenciatura. División de Agronomía. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México.

Travis, D. M. 1992. Estadios de Crecimiento del Cultivo de Trigo. Department of Soil and Crop Sciences, Texas A&M University, College Station, Texas, EEUU. [En línea]: <http://www.elsitioagricola.com/articulos/miller/Estadios%20de%20Crecimiento%20del%20Cultivo%20de%20Trigo.asp>

Valencia, R. C. y D' Cruz-Mason, N. E. 2006. La Androesterilidad en el Mejoramiento de Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). CENTA—INTSORMIL. Primera Edición. La Libertad. El Salvador.

Villaseñor, M. H. E. Castillo, G. F. Espitia, E. R. Rajaram, R. y Molina, G. J. D. 2002. Preservativas del Uso de la Androesterilidad en el Mejoramiento por Selección Recurrente de Trigo de México. Revista Fitotecnia Mexicana. 003: 321-326.

<http://www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/sorgo.htm>

<http://es.beekeeping.wikia.com/wiki/Fenolog%C3%ADa>

<http://www.viarural.com.ar/viarural.com.ar/insumosagropecuarios/agricolas/semillashibridas/cargill/manualsorgo/manualsorgocargill13.htm>

<http://www.viarural.com.ar/viarural.com.ar/insumosagropecuarios/agricolas/semillashibridas/cargill/manualsorgo/manualsorgocargill31.htm>

<http://www.unavarra.es/genmic/genetica%20y%20mejora/endogamia/endogamia.pdf>

<http://tarwi.lamolina.edu.pe/~fmendiburu/AMMI.htm>