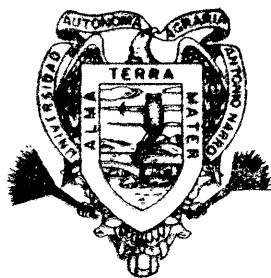


UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

PROGRAMA DE GRADUADOS



ESTUDIO DE HETEROSIS EN ALGUNAS
CARACTERISTICAS RELACIONADAS CON LA
RESISTENCIA A SEQUIA EN EL
SORGO PARA GRANO
(*Sorghum bicolor* (L.) Moench)

POR
DAVID BELTRAN EDEZA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS
ESPECIALIDAD FITOMEJORAMIENTO

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"

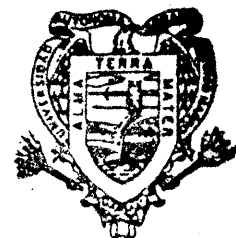
BUENAVISTA, SALTILLO, COAH. MEXICO
SEPTIEMBRE DE 1983



BIBLIOTECA

TESIS ELABORADA BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR
DE ASESORÍA Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL, PARA OPTAR
AL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS ESPECIALIDAD
DE FITOMEJORAMIENTO



COMITE PARTICULAR

BIBLIOTECA
EGIDIO G. REBONATO
BANCO DE TESIS
U.A.A.A.N.

ASESOR PRINCIPAL:



ING. M.C. ENRIQUE NAVARRO GUERRERO

ASESOR:



DR. KURUVADI SATHYANARAYANAIAH

ASESOR:



DR. GELACIO PÉREZ UGALDE

SUBDIRECTOR DE ASUNTOS DE POSTGRADO



DR. JESÚS TORRALBA ELGUÉZABAL

CONTENIDO

	Pág.
Dedicatoria	i
Agradecimientos	ii
Lista de Cuadros	iii
RESUMEN	v
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	3
2.1, La Resistencia a Sequía y sus Mecanismos . . .	3
2.2. Rendimiento	6
2.3. Sistema Radical	8
2.4. Pérdida de Agua	12
2.5, Heterosis	15
III. MATERIALES Y METODOS	18
3.1. Material Genético	18
3.2. Descripción de los Experimentos	20
3.3. Análisis Estadístico de los Datos	25
3.3,1. Análisis de varianza	25
3,3,2. Heterosis y heterobeltiosis	27
3.3,3. Correlaciones fenotípicas	28
IV. RESULTADOS	30
4,1. Estudio de Raíces	30
4.1,1. Análisis de varianza	30
4,1,2. Rangos y medias	30
4.1.3. Heterosis y heterobeltiosis	38
4.1.4. Correlaciones fenotípicas	41
4,2. Estudio de Pérdida de Agua en Hojas Cortadas .	43
4.2,1. Análisis de varianza	43
4.2,2. Rangos y medias	43
4.2,3. Heterosis y heterobeltiosis	45
4,2,4. Correlaciones fenotípicas	47

	Pag.
4.3. Ensayo de Rendimiento bajo Condiciones de Sequía	48
4.3.1. Análisis de varianza	48
4.3.2. Rangos y medias	48
4.3.3. Heterosis y heterobeltiosis	53
4.4. Ensayo de Rendimiento bajo Condiciones de Riego	54
4.4.1. Análisis de varianza	54
4.4.2. Rangos y medias	54
4.4.3. Heterosis y heterobeltiosis	59
4.4.4. Correlaciones fenotípicas entre las características de ambos ambientes . . .	60
4.5. Correlaciones Fenotípicas entre las Características Seleccionadas del Sistema Radical y Pérdida de Agua en Hojas Cortadas y Rendimiento .	63
V. DISCUSION	65
5.1. Estudio de Raíces	65
5.1.1. Análisis de varianza	65
5.1.2. Rangos y medias	66
5.1.3. Heterosis y heterobeltiosis	66
5.1.4. Correlaciones fenotípicas	68
5.2. Estudio de Pérdida de Agua en Hojas Cortadas .	69
5.2.1. Análisis de varianza	69
5.2.2. Rangos y medias	69
5.2.3. Heterosis y heterobeltiosis	70
5.2.4. Correlaciones fenotípicas	71
5.3. Ensayo de Rendimiento en Condiciones de Sequía y Riego	71
5.3.1. Análisis de varianza	71
5.3.2. Rangos y medias	71
5.3.3. Heterosis y heterobeltiosis	73
5.3.4. Correlaciones fenotípicas en ambos ambientes	75
5.4. Correlaciones Fenotípicas entre las Características Seleccionadas del Sistema Radical, Pérdida de Agua en Hojas Cortadas y Rendimiento de Grano	76
VI. CONCLUSIONES	77
VII. BIBLIOGRAFIA	79

DEDICATORIA

A mis padres

Arcadio Beltrán Audelo

Dolores Edeza de Beltrán

A mi esposa e hijos

Ana Ma. Cárdenas de Beltrán

Luis David Beltrán Cárdenas

Arcadio Alberto Beltrán Cárdenas

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) por darme la oportunidad y apoyo para la realización de mis estudios.

A mis asesores, por las sugerencias y valiosas aportaciones en la realización de este trabajo.

A la Srta. Myrna Julieta Ayala Ortega por su excelente trabajo mecanográfico.

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Denominación y origen de los materiales de sorgo usados en esta investigación.	19
2	Cuadrados medios y rangos para las características de 36 genotipos de sorgo bajo condiciones de invernadero.	31
3a	Medias, heterosis y heterobeltiosis para las características de sorgo bajo condiciones de invernadero.	33
3b	Medias, heterosis y heterobeltiosis para las características de sorgo bajo condiciones de invernadero.	34
3c	Medias, heterosis y heterobeltiosis para las características de sorgo bajo condiciones de invernadero.	35
3d	Medias, heterosis y heterobeltiosis para las características de sorgo bajo condiciones de invernadero.	36
4	Correlaciones fenotípicas entre las características de sorgo bajo condiciones de invernadero.	42
5	Análisis de varianza y rangos para la pérdida de agua a las 24 y 48 horas en hojas cortadas.	44
6	Pérdida de agua, heterosis y heterobeltiosis a las 24 y 48 horas en hojas cortadas.	46
7	Cuadrados medios y rangos de las características estudiadas bajo condiciones de sequía.	49
8a	Medias, heterosis y heterobeltiosis de las características de sorgo bajo condiciones de sequía.	51

Cuadro		Página
8b	Medias, heterosis y heterobeltiosis de las características de sorgo bajo condiciones de sequía.	52
9	Cuadrados medios y rangos de las características estudiadas bajo condiciones de riego.	55
10a	Medias, heterosis y heterobeltiosis de las características de sorgo bajo condiciones de riego.	57
10b	Medias, heterosis y heterobeltiosis de las características de sorgo bajo condiciones de riego.	58
11	Correlaciones fenotípicas entre las características del ensayo de rendimiento en condiciones de sequía y riego.	61
12	Correlaciones fenotípicas entre las características seleccionadas del sistema radical, pérdida de agua en hojas cortadas y rendimiento de grano bajo condiciones de sequía y riego.	64

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal, estudiar la respuesta heterótica de 24 híbridos, en algunas características relacionadas con la resistencia a sequía. Para la formación de tales híbridos se utilizaron cuatro líneas androestériles (resistentes a sequía antes y después de floración) y siete líneas restauradoras (con diferente longitud del sistema radical). En Saltillo (1982) se formaron los 24 híbridos, siendo evaluados en Culiacán (1983) para el estudio de raíces, pérdida de agua en hojas cortadas y ensayos de rendimiento (sequía y riego).

Se encontraron diferencias altamente significativas (al 0.01 de probabilidad) entre los genotipos para todas las características estudiadas en los tres experimentos, lo que indica que existe amplia variabilidad genética entre el material en estudio.

En el estudio de raíces los híbridos excedieron el rango de los padres en longitud de raíz seminal, número de raíces nodales, suma total de raíces, raíz nodal más larga, suma de excedentes después de 40 cm y número de raíces mayores de 40 cm; en las características longitud de raíz seminal y

proporción raíz/vástago los padres tuvieron los rangos más altos. Manifestaron heterobeltiosis significativa número de raíces nodales, suma total de raíces, entre otras, a excepción de longitud de raíz seminal y proporción raíz/vástago. Se encontraron correlaciones altamente significativas para número de raíces mayores de 40 cm con el resto de las características (excluyendo a proporción raíz/vástago); tales magnitudes indican que el estudio del sistema radical puede limitarse a dos características: número de raíces mayores de 40 cm y proporción raíz/vástago.

Para pérdida de agua en hojas cortadas, el rango de los híbridos fue más bajo que el de los padres tanto en pérdida de agua a las 24 como a las 48 horas. Los híbridos fueron más eficientes que los padres para reducir la pérdida de agua (por ejemplo los híbridos 35 X Tx 7078, 35 X 7000, entre otros).

En los ensayos de rendimiento (sequía y riego) se encontró que el vigor híbrido fue mayor para el ambiente de sequía; lo cual indica que los materiales fueron seleccionados para condiciones de déficit de agua. Las características longitud de raíz seminal y suma de excedentes después de 40 cm manifestaron alta correlación con el rendimiento en sequía, lo que abre la posibilidad de hacer selección para rendimiento bajo sequía indirectamente con el estudio de raíces en invernadero.

I. INTRODUCCION

El cultivo del sorgo para grano ocupa el tercer lugar en área sembrada a nivel nacional con 1,396,300 hectáreas; por producción total es el segundo cultivo con 1,396,300 toneladas, siendo superado únicamente por el maíz (DGEA, 1974-1981). En los últimos siete años no se ha satisfecho la demanda de este cereal, teniéndose que importar anualmente un promedio de 895,627 toneladas (DGEA, 1981), que equivale a un 64% de la producción nacional.

En México, el sorgo se siembra bajo condiciones de riego y temporal, teniendo la zona temporalera el 67% de la superficie total sembrada en los últimos años (1980, 1981), lo cual indica la gran importancia socioeconómica que representa este cultivo para regiones de escasa precipitación. El problema principal que afecta la producción en estas regiones, son las precipitaciones escasas e irregulares que ocasionan disminución en el rendimiento por hectárea o la pérdida del cultivo.

El 95% de los materiales que se siembran en temporal son híbridos, los cuales no han sido formados para condiciones con limitación de agua, sino que lo han sido para condi-

ciones óptimas de humedad, y la selección para temporal se basa principalmente en la precocidad de los materiales. Es decir, que no se están tomando en cuenta, en el mejoramiento genético, las características morfofisiológicas del sorgo, que contribuyen para que el cultivo se desarrolle mejor en condiciones de sequía; características que en otros países como en la India y Estados Unidos se están tomando en cuenta.

Información sobre las características que ayudan a la resistencia a sequía es escasa, por lo que se hace necesaria la realización de esta investigación, para avanzar en el mejoramiento genético del sorgo en condiciones de déficit de agua.

Con la presente investigación se pretenden alcanzar los siguientes objetivos:

- 1) Conocer la variabilidad genética de las características objeto de esta investigación.
- 2) Determinar el grado de heterosis para cada una de las características morfofisiológicas importantes en la resistencia a sequía.
- 3) Identificar la magnitud de las correlaciones de las características relacionadas con la resistencia a sequía y rendimiento de grano.

II. REVISION DE LITERATURA

La resistencia a la sequía en los cultivos es un tema de muchas controversias, en el que algunos investigadores opinan (Sánchez-Díaz y Kramer, 1971) que las razones para que un cultivo sea considerado como resistente a la sequía no están bien establecidas; así como la terminología utilizada que la mayoría de las veces crea confusión (Todd and Webster, 1965). No obstante lo anterior hay investigadores que dan evidencias donde tratan de esclarecer los principios o mecanismos de la resistencia a sequía (Levitt, 1972 en cultivos generales; Atsmon, 1973 en cereales).

2.1. La Resistencia a Sequía y sus Mecanismos

Maximov (1946), define a la resistencia a la sequía en los cultivos, como la capacidad para soportar la deshidratación temporal de los tejidos, sin que disminuya el rendimiento o con una reducción mínima del mismo. Este autor distingue a las plantas cultivadas de las plantas del desierto, en que las primeras no sufren sequía durante todo su período vegetativo, sino únicamente durante intervalos de tiempo más o menos breves.

Una definición breve la da Atsmon (1973), que en esen-

cia dice lo mismo : Es la capacidad general de la planta para minimizar su reducción del rendimiento bajo déficit de agua.

La resistencia a la sequía en las plantas puede deberse a tres mecanismos independientes, o a una combinación de ellos, Levitt (1972).

a) Evitación de la sequía :

Este mecanismo se caracteriza por mantener un contenido adecuado de agua en la célula, a pesar de que la planta esté expuesta a un déficit de agua externo. Esto se logra en las plantas mediante la absorción de agua con un sistema radical profundo, y una mayor proporción raíz/vástago. Además, por medio de la reducción de la pérdida de agua en períodos de sequía, mediante las siguientes características : comportamiento estomático (rapidez en el cierre de los estomas al ir progresando la sequía), grosor o encerado de la cutícula, reducción del área transpiratoria (mediante el enrollamiento o arrugamiento de las hojas) y reducción de la temperatura (con hojas erectas de color verde claro y con vellosidades entre otras).

b) Tolerancia a la sequía :

Es cuando una planta puede sobrevivir con un bajo potencial hídrico en sus tejidos. Lo anterior se logra con características a nivel celular como : tamaño de célula, viscosidad del citoplasma y permeabilidad de la pared celular,

entre otras.

c) Escape a la sequía :

Este mecanismo no da capacidad para enfrentar una sequía, sino que solamente las plantas de ciclo de vida corto terminan su desarrollo antes de que se vean afectadas por un período de escasez de agua. Su característica única en las plantas cultivadas es la precocidad. Algunos investigadores no lo consideran como mecanismo, pero de cualquier manera, la precocidad es importante en ciertas regiones con problemas de deficiencia de agua.

Levitt (1972), concluye que el mejor mecanismo es el de evitación a la sequía. El autor indica que la evitación tiene más valor de supervivencia que la tolerancia, en el caso de déficit de agua. Es obvio que una planta con una evitación bien desarrollada no sólo puede sobrevivir la sequía, sino que también será capaz de continuar su metabolismo, crecimiento, y desarrollo en la presencia de un déficit de agua prolongado.

Por otro lado, la planta con tolerancia lo único que hace es sobrevivir durante la sequía. La planta tolerante no tendrá presión de turgor positiva cuando esté sometida al déficit de agua, y por lo tanto no podrá crecer.

Diferentes investigadores han tenido como fundamento de sus investigaciones en diversos cereales los mecanismos descritos por Levitt (1972), y asimismo, que evitación es el

mejor mecanismo para la resistencia a sequía en las plantas cultivadas (Salim et al, 1969; Atsmon, 1974; Blum, 1974; Stout y Simpson, 1978 y Blum, 1981).

Kramer (1963), indicó lo mismo que Levitt (1972), argumentando que el déficit de agua en la planta depende de las tasas relativas de absorción de agua y pérdida de agua, más bien que de la provisión de agua del suelo.

En el mecanismo de evitación, se distinguen varias características que ayudan a la absorción y a la reducción de la transpiración en condiciones de sequía. Para la absorción lo más importante es un sistema radical profundo (Maximov, 1946; Levitt, 1972), y para la reducción de la transpiración es más benéfico en las plantas cultivadas, la sensibilidad de los estomas al déficit de agua (Maximov, 1946; Levitt, 1972; Hsiao, 1972).

Tanto en condiciones favorables como en desfavorables (sequía), el rendimiento es el objetivo principal, por lo que algunos investigadores lo han utilizado como parámetro en la selección para resistencia a sequía.

2.2. Rendimiento

El rendimiento en los cereales en condiciones favorables depende principalmente de sus componentes (número de es pigas por planta, número de granos por espiga y peso de gra-

no entre otros). En condiciones de escasez de agua debe depender principalmente de la cantidad de agua absorbida y de la eficiencia en su uso (que depende principalmente de la reducción en la tasa de transpiración cuando se acentúa el déficit de agua). Evidencias para lo indicado anteriormente son los trabajos siguientes.

Sandhu y Laude (1958), trabajando con variedades de trigo, encontraron que la resistencia al calor y a la sequía estaba asociada con mejores rendimientos de campo bajo condiciones de sequía, además altas proporciones raíz/vástago y lenta pérdida de agua en plantas cortadas. No encontraron diferencias entre las variedades en rendimiento de campo, cuando fueron sometidos a sequía ligera.

Trabajando con trigo Hurd (1974), indica que altos rendimientos bajo condiciones de déficit de agua están relacionados con sistema radical más grande y sugiere que un programa de mejoramiento genético enfocado a obtener sistemas radiculares deseables, contribuirá para rendimientos más altos en condiciones de sequía.

Tanto Maximov (1946), como Atsmon (1973), coinciden en definir a la resistencia a la sequía, como la capacidad de las plantas para minimizar la reducción del rendimiento bajo déficit de agua.

El rendimiento se puede utilizar como parámetro de la

resistencia a sequía de una planta cultivada, pero ya en el mejoramiento genético es preferible seleccionar plantas directamente para las características principales, como son la raíz y el comportamiento de estomas, que al final dará mayor rendimiento, si tiene la planta los componentes del rendimiento adecuados.

2.3. Sistema Radical

Un sistema radical extenso asegura una efectiva utilización de la fertilidad y humedad del suelo bajo condiciones de temporal (Van Keuren, 1967; citado por Bhan et al, 1973). Nakayama and Bavel (1963), utilizando trazadores radiactivos aplicados al suelo, encontraron que el sorgo agotaba de un 80 a 90% del agua contenida en el perfil desde la superficie hasta 90 cm de profundidad, y abajo de los 90 cm la planta de sorgo sólo absorbió una fracción pequeña. Esto indica que un sistema radical más profundo, obtendrá más agua para el crecimiento de la planta (Van Keuren, 1967).

El sistema radical del sorgo está formado por dos tipos de raíces : La raíz seminal o raíz temporal y las raíces nodales o adventicias o permanentes.

a) Raíz seminal: Es la raíz que proviene del embrión de la semilla, el sorgo tiene solamente una en contraste con otros cereales que tienen más de una (Sieglinger, 1920).

• La raíz seminal es muy importante durante el establecimiento del cultivo, período en el cual no hay raíces adventicias. A medida que las raíces adventicias se desarrollan, la raíz seminal pierde importancia en la absorción de agua hasta que paulatinamente muere, aproximadamente a los 25 días en condiciones de campo, quedando así, por el resto del ciclo de la planta de sorgo las raíces adventicias o permanentes.

Blum et al (1977), utilizando cultivo hidropónico y tres híbridos de sorgo con sus líneas parentales, encontró heterosis (ventaja del híbrido sobre su mejor padre) en longitud de raíz seminal y esta fue significativa en todos los híbridos; la máxima cantidad fue del 58.3 %.

b) Raíces adventicias: Este tipo de raíces es el más importante en el sorgo, ya que abastece de agua a la planta durante la mayor parte del ciclo vegetativo y todo el reproductivo; son sus raíces permanentes.

Bhan et al (1973), estudiaron el sistema radical de ocho variedades de sorgo con el método de in situ, estas variedades se clasificaron como resistentes a sequía y como susceptibles, debido a que durante el período de sequía en planta joven cuatro de ellas no mostraron marchitamiento ni aún a mediodía, las cuales nombró resistentes y las otras cuatro que sí se marchitaron las llamó susceptibles.

En el estudio de las raíces, las líneas resistentes pe

netraron claramente más profundo que las susceptibles, dando lugar a una diferencia de 14.9 cm a los 40 días después de la siembra, y de 6 cm a la cosecha entre ambos tipos de líneas.

Nour y Weibel (1978), estudiaron varios caracteres del sistema radical en 10 variedades de sorgo, conocidas en que variaban en su resistencia a la sequía. Para esto, utilizaron bolsas de plástico rellenas con arena lavada, colocadas en una cámara de crecimiento; los datos se tomaron cuando las plantas tenían tres semanas de edad y encontraron diferencias varietales significativas para todos los caracteres estudiados : En general las variedades más resistentes a la sequía tuvieron peso más alto de raíces, mayor volumen radical, y más altas proporciones de raíz/vástago. En longitud de raíces se observó relativamente poca variación, debido posiblemente al escaso tamaño de las bolsas, según hacen notar.

En trigo Sandhu y Laude (1958), mencionan que la resistencia al calor y a la sequía, estaba asociada con altas proporciones raíz/vástago, y otras características como pérdida lenta de agua en hojas cortadas, y mejores rendimientos bajo condiciones de sequía.

Hurd (1974), argumenta que un sistema radical extenso está asociado con la resistencia a sequía en trigo y que la selección para alto rendimiento bajo condiciones de déficit

de agua selecciona para un sistema radical más grande. Sugiere que en un programa de mejoramiento sistemático para un sistema radical favorable, contribuirá para obtener altos rendimientos bajo déficit de humedad.

Bhan et al (1973), haciendo observaciones sobre la emergencia de la panícula y el desarrollo de la raíz, encontró que la primera estaba significativamente correlacionada con peso de raíz.

Posteriormente Blum (1977), utilizando dos líneas isogénicas para madurez : una relativamente precoz (60 SM - $ma_1 ma_2 ma_3 Ma_4$) con un sólo gen para madurez y una tardía (100 M - $Ma_1 Ma_2 Ma_3 Ma_4$) con los cuatro genes. Las líneas isogénicas estuvieron bajo cultivo hidropónico, en el cual la línea más tardía tuvo una disminución en el número de raíces adventicias, y un incremento en el volumen de la raíz debido a mayor ramificación.

En una comparación de tres híbridos F_1 y sus líneas parentales utilizando la técnica de cultivo en solución (cultivo hidropónico), Blum et al (1977) encontraron heterosis significativa (ventaja del híbrido sobre su mejor padre), para crecimiento de las raíces adventicias y volumen de raíz. No se encontró heterosis consistente para número de raíces adventicias por planta, ni en el peso seco de las raíces adventicias.

Una ventaja muy importante del híbrido F_1 sobre sus padres fue revelada por McClure y Harvey (1962), utilizaron trazadores radiactivos en un híbrido de sorgo para grano con sus padres y una variedad de sorgo forrajero. Encontraron que durante floración y madurez del grano había muy poco crecimiento radical para los padres del híbrido y la variedad forrajera. Mientras que el híbrido mostró un marcado incremento en la actividad de las raíces durante ese período.

2.4. Pérdida de Agua

Kramer (1963) y Levitt (1972), dedujeron la importancia fundamental que tiene la tasa de pérdida de agua en el déficit de la planta, al indicar que éste último depende de la tasa relativa de absorción de agua y de la pérdida de agua, más bien que de la cantidad de agua en el suelo, por sí sola.

Las plantas tienen varias formas de reducir su transpiración cuando se presenta una sequía, entre las que se pueden mencionar : el cierre de los estomas, el enceramiento de la cutícula, el enrollamiento o arrugamiento de las hojas que reduce el área foliar. Pero está bien documentado que el cierre estomático, es el factor principal para la reducción de la transpiración en las mesófitas durante el desarrollo de un déficit de agua (Hsiao, 1973).

Salim y Todd (1965), trabajando con trigo, cebada y

avena determinaron que las plantas que fueron sometidas a un período de déficit de agua y después se volvieron a regar, la tasa de transpiración después del riego de recuperación fue siempre más reducida que la tasa de antes del déficit.

McCree (1974) y Thomas et al (1976) (citado por Ackerson et al, 1980), indican que una exposición de las plantas a una serie de déficits hídricos en el suelo, altera las subsecuentes respuestas estomáticas a la baja del potencial hídrico en la hoja.

La forma más directa de medir el grado de cierre de los estomas cuando se está desarrollando un déficit de agua en la planta, es mediante el uso del porómetro. Otra manera de cuantificar el cierre estomático en una forma muy indirecta y mucho menos precisa, es mediante la técnica de hojas o plantas cortadas.

a) Estudios con el porómetro

Henzel et al (1976), trabajando con cuatro variedades de sorgo y cinco de sus híbridos posibles, encontraron que la sensibilidad estomática varió significativamente entre ellas al irse desarrollando el déficit hídrico. La variedad M35 - 1 fue lenta en cerrar sus estomas cuando el potencial hídrico de la hoja declinaba. Los híbridos F_1 mostraron en general un comportamiento similar al del padre más sensible, pero la correspondencia no fue consistente.

Ackerson et al (1980), empleando seis líneas progenitoras y cuatro de sus híbridos posibles, observó diferencias genotípicas antes de la floración, en el control estomático de la transpiración a medida que el déficit hídrico en la hoja aumentaba. No encontraron diferencias genotípicas significativas cuando el potencial hídrico era alto. Además se distinguieron dos respuestas contrastantes en la relación padre-híbrido, en la resistencia estomática en los déficits de agua en incremento. No se encontró una relación consistente entre el híbrido y algunas líneas progenitoras. En un caso, el híbrido siguió el patrón de la madre. Sin embargo, en otra cruce el híbrido inició el control estomático a potenciales hídricos más altos que los padres y efectuó el cierre estomático a potenciales hídricos comparables al padre.

El autor comenta, que los genotipos de sorgo estudiados conservaron agua a través del control estomático antes del establecimiento del desarrollo reproductivo; sin embargo, después de la floración se mantuvieron abiertos los estomas, a pesar de que el potencial hídrico bajó hasta -24 bars. Parece ser que la productividad fotosintética es mantenida a expensas de la conservación de agua.

b) Estudios con hojas o plantas cortadas

Esta es una técnica fácil y rápida que están utilizando algunos investigadores como prueba para seleccionar para resistencia a sequía por evitación. Levitt (1972), señala que la pérdida de agua depende de los siguientes factores : evitación de pérdida de agua debido al cierre de estomas, y

evitación de la pérdida de agua cuticular.

Martin (1930), reporta que tanto las hojas como la planta completa de maíz, se seca más rápidamente que las del sorgo. Explica que tanto los estomas del sorgo como los del maíz, se cierran en pocos minutos después que el secado empieza y mucho antes que el marchitamiento se note. Por lo tanto la mayoría de la evaporación, toma lugar directamente a través de las células epidérmicas. La diferencia estructural que explicaría lo anterior, es la cutícula y la cera en la epidermis de sorgo que hace más lenta la evaporación.

En trigo, Sandhu y Laude (1958) concluyen que en cinco variedades de trigo, la resistencia a la sequía y al calor estaba asociada con la lenta pérdida de agua en plantas cortadas, además con altas proporciones de raíz/vástago y mejores rendimientos bajo condiciones de sequía..

2.5. Heterosis

Indudablemente el vigor híbrido en el sorgo ha contribuido significativamente en aumentar el rendimiento por unidad de superficie, esto es principalmente en las zonas con irrigación en donde la manifestación de heterosis en características como : vástago, rendimiento de grano y componentes del rendimiento, han sido ampliamente estudiadas (Quinby, 1974, citado por Blum et al, 1977).

El fenómeno de heterosis en las características que ayudan a aumentar el rendimiento en condiciones de sequía, como la raíz y el comportamiento de estomas, han sido escasamente estudiados (Blum et al, 1977; Ackerson et al, 1980). Por lo que actualmente no se está explotando el vigor híbrido en zonas con temporal irregular.

Fonseca y Paterson (1968), proponen un nuevo término, heterobeltiosis (proveniente del griego hetero, diferente; y de beltiosis, mejoramiento), para describir la mejoría de un carácter en la población heterocigótica, en relación al mejor padre de la cruce. Argumentando que en las siembras comerciales, sólo aquel vigor que exceda al mejor padre es de importancia.

El vigor híbrido, es un fenómeno que se aplicaría con dificultad en características como la sensibilidad estomática (ó pérdida de agua en hojas cortadas), es por lo que, en estos casos más bien se quiere conocer la relación padre-híbrido, que es de mucha utilidad en los programas de mejoramiento genético.

La heterosis en el sorgo se manifiesta tan pronto se inicia la germinación en las primeras etapas del crecimiento (Blum, 1969; citado por Blum et al, 1977). El vigor híbrido está bien establecido en la planta joven de sorgo y las ventajas son capitalizadas durante las siguientes etapas de crecimiento. Siendo esta la razón principal de escoger la plan

ta joven de sorgo para hacer los estudios del sistema radical y de pérdida de agua en hojas cortadas.

De acuerdo con los estudios citados en este capítulo, queda fundamentado que el sistema radical, el comportamiento estomático y el rendimiento, son las principales características que pueden ayudar al hacer mejoramiento genético para resistencia a sequía.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Material Genético

Para llevar a cabo la presente investigación se utilizaron cuatro líneas androestériles (líneas A): A 35, A 4R, A Tx 3197 y A Tx 623 (siendo las dos primeras resistentes a la sequía antes de la floración y el resto después de la floración), sus respectivas líneas mantenedoras (líneas B); siete líneas restauradoras (líneas R) (con diferentes longitudes del sistema radical); 24 de los 28 híbridos posibles entre líneas A y R, además se incluyó una variedad comercial homocigótica de la región como testigo (Cuadro 1). Las líneas A, B y R provienen del programa de conversión de sorgo de E.U.A. e INTSORMIL (Programa Internacional de Sorgo y Mijo).

La producción de los 28 híbridos se efectuó en los terrenos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, durante el ciclo Primavera-Verano de 1982. Se sembraron dos surcos de 20 m de longitud, con una separación entre surcos de 75 cm y de 8 cm entre plantas, de cada una de las cuatro líneas androestériles las mismas que fueron apareadas con cada una de las siete líneas restauradoras, éstas últimas sembrándose ocho días después. Se polinizaron 15 panojas de la

Cuadro 1. DENOMINACION Y ORIGEN DE LOS MATERIALES DE SORGO USADOS EN ESTA INVESTIGACION.

Número	Denominación	Origen
	Líneas androestériles (A) y mantenedoras (B)	
1	A 35	TAES*
	B 35	TAES
2	A 4R	TAES
	B 4R	TAES
3	A Tx 3197	TAES
	B Tx 3197	TAES
4	A Tx 623	TAES
	B Tx 623	TAES
	Líneas restauradoras (R)	
5	R Tx 7078	TAES
6	R Tx 7000	TAES
7	M35 - 1	INTSORMIL**
8	OTE - 19	INTSORMIL
9	OTE - 20	INTSORMIL
10	OTE - 25	INTSORMIL
11	OTE - 32	INTSORMIL
	Híbridos F ₁ (líneas A X R)	
12	35 X Tx 7078	UAAAN***
13	35 X Tx 7000	UAAAN
14	35 X M35 - 1	UAAAN
15	35 X OTE - 19	UAAAN
16	35 X OTE - 20	UAAAN
17	35 X OTE - 25	UAAAN
18	35 X OTE - 32	UAAAN
19	4R X Tx 7078	UAAAN
20	4R X M35 - 1	UAAAN
21	4R X OTE - 25	UAAAN
22	Tx 3197 X Tx 7078	UAAAN
23	Tx 3197 X Tx 7000	UAAAN
24	Tx 3197 X M35 - 1	UAAAN
25	Tx 3197 X OTE - 19	UAAAN
26	Tx 3197 X OTE - 20	UAAAN
27	Tx 3197 X OTE - 25	UAAAN
28	Tx 3197 X OTE - 32	UAAAN
29	Tx 623 X Tx 7078	UAAAN
30	Tx 623 X Tx 7000	UAAAN
31	Tx 623 X M35 - 1	UAAAN
32	Tx 623 X OTE - 19	UAAAN
33	Tx 623 X OTE - 20	UAAAN
34	Tx 623 X OTE - 25	UAAAN
35	Tx 623 X OTE - 32	UAAAN
36	Variedad comercial homocigótica (Testigo) Hegari Blanco Regular	Comercial

* TAES - USDA Programa de conversión del sorgo. E.U.A.

** INTSORMIL Programa Internacional de Sorgo y Mijo

*** UAAAN Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

línea androestéril con cada línea restauradora con el propósito de obtener la mayor cantidad de semilla posible. Finalmente hubo necesidad de eliminar cuatro híbridos por falta de semilla.

La nomenclatura utilizada para identificar cada uno de los híbridos (cruzas), será de acuerdo al número que se le haya asignado a cada uno de los padres (Cuadro 3a).

3.2. Descripción de los Experimentos

La investigación fue establecida en el Campo Agrícola Experimental del Valle de Culiacán (CAEVACU), perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), el cual se encuentra en el Municipio de Culiacán, del Estado de Sinaloa que corresponde a la región costera del Noroeste de México. Este campo se localiza a los $28^{\circ}36'$ latitud Norte y $107^{\circ}27'$ de longitud Oeste, a una altitud de 37 msnm.

Durante el período de fines de Febrero a fines de Junio (desarrollo del ensayo de rendimiento), las probabilidades de lluvia son escasas, lo que permite establecer períodos de sequía. El suelo donde se realizaron los ensayos de rendimiento tiene un pH de 8.3 y es de textura arcillosa.

El estudio se dividió en tres experimentos, los mismos que sirvieron para evaluar los 36 genotipos (Líneas A, R, 24 híbridos y la variedad comercial homocigótica) base de esta investigación.

- a) Evaluación de diferentes características del sistema radical en condiciones de invernadero.
- b) Evaluación de la pérdida de agua en hojas cortadas.
- c) Ensayo de rendimiento bajo condiciones de sequía y riego.

a) Estudio de raíces

El experimento se realizó en un invernadero del CAEVACU sin control de ambiente. Se usaron bolsas de polietileno negro de 55 cm de largo por 16 cm de diámetro, las cuales se llenaron con arena cribada y lavada. La siembra se realizó el 12 de Diciembre de 1982, depositando cinco semillas por bolsa de cada uno de los 36 genotipos a una profundidad uniforme de 1 cm. Cinco días después de la emergencia (DDE) se aclareó para dejar dos plantas por bolsa. Cada vez que era necesario (cuando se observaban ligeros síntomas de marchitamiento) se regaba con un cuarto de litro de agua a todas las bolsas. A los 10 DDE se fertilizó con Bayfolan sólido (mezcla comercial de elementos mayores y menores), utilizando un kg de éste en 70 litros de agua, aplicando un cuarto de litro de esta solución por bolsa.

El diseño utilizado fue un bloques al azar con tres repeticiones, la parcela experimental estaba formada por dos bolsas, cada una con dos plantas (cuatro plantas por repetición).

Cuando las plantas tenían de 7 a 9 hojas (32 DDE), las raíces de las plantas fueron lavadas cuidadosamente con un chorro de agua hasta dejarlas libre de arena, inmediatamente después se tomaron las siguientes características:

- 1) Altura de planta
- 2) Longitud de la raíz seminal
- 3) Número de las raíces nodales
- 4) Suma total de las raíces
- 5) Raíz nodal más larga
- 6) Suma de los excedentes de las raíces nodales después de los 40 cm de longitud
- 7) Número de raíces nodales mayores de 40 cm
- 8) Proporción raíz/vástago. Se determinó dividiendo la materia seca de la raíz entre la del vástago.

b) Estudio de pérdida de agua en hojas cortadas

Para llevar a cabo esta prueba, se utilizaron plantas orilleras de la parcela útil de las tres repeticiones del ensayo de rendimiento bajo riego.

Cuando el cultivo estaba en la etapa de 7 a 9 hojas (30 DDE) se realizó el corte de las hojas a las 7 A.M., cuando la humedad sobre ellas (por gutación y rocío) era mínima, dos plantas de cada parcela del ensayo de rendimiento fueron cortadas a la altura de la aurícula (región opuesta a la lígula) más alta visible, seleccionando para esta prueba solamente las dos hojas cortadas más abiertas de cada una de las dos plantas, siendo esta la parcela experimental (cuatro ho-

jas). Inmediatamente después del corte se trasladaban a la bodega, donde se pesaron por primera vez y se colocaron sobre hojas de papel en el piso, después se efectuaron otros dos pesos a las 24 y 48 horas, para finalmente secar las hojas al horno a una temperatura de 65°C durante 24 horas, y obtener el peso seco de las cuatro hojas. El diseño utilizado en este experimento fue un bloques al azar con tres repeticiones.

Se tomaron los siguientes datos:

1) Peso inicial. Es el peso tomado inmediatamente después del corte de las hojas.

2) Peso a las 24 y 48 horas después de la primera pesada.

3) Peso seco de cuatro hojas. Peso en gramos después de secarlas al horno a 65°C durante 24 horas.

4) Contenido inicial de agua en las hojas (gr):

$$= \text{Peso inicial} - \text{Peso seco}$$

5) Cálculo del porcentaje de pérdida de agua a las 24 horas:

$$\frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso a las 24 horas}}{\text{Contenido inicial de agua (gr)}} \times 100$$

6) Cálculo del porcentaje de pérdida de agua a las 48 horas:

$$\frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso a las 48 horas}}{\text{Contenido inicial de agua (gr)}} \times 100$$

c) Ensayo de rendimiento bajo condiciones de sequía y riego

Se utilizaron los mismos 36 genotipos que para el estudio de raíces, sólo que aquí se utilizaron las líneas B en lugar de las líneas A. Los 36 genotipos fueron sembrados en dos experimentos (sequía y riego) en el CAEVACU, el día 20 de Febrero de 1983, regándose inmediatamente después. Uno bajo condiciones favorables que consistió en darle los riegos necesarios al cultivo para que no sufriera déficits de agua, con una fertilización de 120 kilogramos de nitrógeno por hectárea. Otro llamado "bajo condiciones desfavorables" al que sólo se le dió su riego de germinación y no se fertilizó.

El suelo contenía en reserva bastante humedad ya que durante los tres últimos meses antes de la siembra hubo una precipitación de 127 mm, lo que explica que hasta los 50 días DDE se empezaron a observar plantas marchitas a medio día; en estos días se le dió el primer riego de auxilio, de un total de cuatro que recibió el ensayo en condiciones favorables. Se realizaron dos cultivos con tractor, deshierbes manuales y aplicaciones de insecticidas para mantener el cultivo libre de plagas y malas hierbas hasta donde fuera posible.

El diseño utilizado fue un látice simple duplicado 6 X 6 en ambos experimentos, con una parcela experimental de dos surcos de 4 m con 0.75 m de separación entre ellos, Se consideró como parcela útil dos surcos de 3 m de largo, la densidad de siembra fue de 12 plantas por metro lineal (160,000

plantas/ha).

En ambos experimentos se tomaron los siguientes datos:

- 1) Días a floración. Número de días después de la emergencia en que aproximadamente el 50% de las panojas de una parcela están en antésis.
- 2) Altura total de planta. Medida en centímetros desde el nivel del suelo hasta el ápice de la panoja.
- 3) Rendimiento de grano. Se determinó con el peso de grano por parcela, uniformizando su contenido de humedad, secándolo a la interperie y convirtiéndolo a kg/ha.

3.3. Análisis Estadístico de los Datos

3.3.1. Análisis de varianza

Se estimaron análisis de varianza de los experimentos descritos anteriormente (estudio de raíces, pérdida de agua en hojas cortadas y los ensayos de rendimiento) para cada una de las características involucradas en cada caso.

El modelo que se asume para el diseño bloques al azar es el siguiente.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij} ; \quad i = 1, 2, \dots, t \text{ tratamientos}$$

$$j = 1, 2, \dots, r \text{ repeticiones}$$

Donde:

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

μ = Media general del carácter medido.

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

B_j = Efecto del j -ésimo bloque (repeticiones).

E_{ij} = Error experimental.

Los postulados del modelo son los siguientes:

$$T_i \sim NI \left(0, \frac{\sum T_i^2}{T_i - 1} \right)$$

$$B_j \sim NI (0, \sigma_B^2)$$

$$E_{ij} \sim NI (0, \sigma_e^2)$$

y todas las covarianzas son igual a cero.

El modelo estadístico para un látice simple es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + R_j + B_{jk} + T_i + E_{ijk} ; i = 1, 2, \dots, \text{tratamientos}$$

$$j = 1, 2, \dots, \text{repeticiones}$$

$$k = 1, 2, \dots, \text{bloques incompletos}$$

Donde:

Y_{ijk} = Valor del ijk -ésimo tratamiento.

μ = Media general del carácter medido.

R_j = Efecto de la j -ésima repetición.

B_{jk} = Efecto del k-ésimo bloque incompleto dentro de la j-ésima repetición.

T_i = Efecto del i-ésimo tratamiento.

E_{ijk} = Error intrabloque.

Los postulados del modelo son los siguientes:

$$R_j \sim \text{DNI} (0, \sigma_R^2)$$

$$B_{jk} \sim \text{DNI} (0, \sigma_B^2)$$

$$T_i \sim \text{DNI} (0, \sigma_T^2)$$

$$E_{ijk} \sim \text{DNI} (0, \sigma_e^2)$$

3.3.2. Heterosis y Heterobeltiosis

Se determinó el porcentaje de heterosis (H') y heterobeltiosis (H'') para cada una de las características en estudio. Para estimar heterosis se consideró la media del híbrido F_1 con la media de los progenitores (\overline{MP}). Para heterobeltiosis, se consideró el promedio del híbrido con el progenitor superior (PS) de esta manera:

$$H' (\%) = \frac{F_1 - \overline{MP}}{\overline{MP}} \times 100 \qquad H'' (\%) = \frac{F_1 - PS}{PS} \times 100$$

Donde:

F_1 = Media del híbrido F_1

\overline{MP} = Media de los dos progenitores = $\frac{P_1 + P_2}{2}$

PS = Progenitor superior.

Hubo necesidad de utilizar la prueba de rango múltiple de Duncan al 0.05 de probabilidad, para determinar la significancia de los porcentajes de heterosis y heterobeltiosis; cuya expresión es la siguiente:

$$\text{Duncan } 0.05 = (\bar{Sx}) (q_{\alpha}, \text{ g.l. del error})$$

Donde:

\bar{Sx} = Error estandar de la diferencia entre medias de tratamientos.

$$\bar{Sx} = \frac{\text{C.M.E.}}{r}$$

C.M.E.= Cuadrados medios del error.

r = Repeticiones.

$q_{\alpha}, \text{ g.l. del error}$ = Valores obtenidos de la tabla de probabilidad de F.

3.3.3. Correlaciones Fenotípicas

El objetivo de calcular las correlaciones fenotípicas fue para ver las posibles asociaciones y determinar la magnitud que pudiera existir entre las características bajo estudio, y de esta manera poder hacer más efectiva la selección indirecta.

La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$r_f = \frac{\text{Cov}_{fx,y}}{\sqrt{\sigma_{fx}^2 \cdot \sigma_{fy}^2}}$$

Donde:

r_f = Correlación fenotípica.

$Cov_{fx,y}$ = Producto de los cuadrados medios de la variable X e Y.

σ_{fx}^2 = Varianza fenotípica de la variable X.

σ_{fy}^2 = Varianza fenotípica de la variable Y.

IV. RESULTADOS

4.1. Estudio de Raíces

4.1.1. Análisis de varianza

Los cuadrados medios y los coeficientes de variabilidad de las ocho características estudiadas se presentan en el Cuadro 2.

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre los genotipos para todas las características (Longitud raíz seminal, número de raíces nodales, entre otras). El coeficiente de variabilidad fue menor o igual al 15% para las siguientes características: Altura de planta, longitud raíz seminal, número de raíces nodales, suma total de raíces, raíz nodal más larga y proporción raíz/vástago. Las características número de raíces mayores de 40 cm y suma de excedentes después de 40 cm resultaron con coeficientes de variabilidad de 23.4 y 35% respectivamente, siendo los más altos en las ocho características estudiadas.

4.1.2. Rangos y medias

En el mismo Cuadro 2 se presentan los rangos de los híbridos y padres, donde se observa que para la característica

Cuadro 2. CUADRADOS MEDIOS Y RANGOS PARA LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS DE 36 GENOTIPOS DE SORGO BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO.

Fuentes de variación	g.l.	Altura de planta	Longitud raíz seminal	Número de raíces nodales	Suma total de raíces	Raíz nodal más larga	Suma de excedentes después de 40 cm	Número de raíces mayores de 40 cm	Proporción raíz/vástago
Genotipos	35	69,9**	57,7**	5,84**	6688**	89,0**	720**	2,54**	0,006**
Repeticiones	2	131,7**	179,1**	7,47**	21835**	250,3**	3094**	8,92**	0,082**
Error	70	11,7	26,5	1,02	1312	20,4	187	0,67	0,002
C.V.		8,4 %	9,7 %	15,0 %	14,6 %	8,8 %	35,1 %	23,4 %	11,7 %
<u>Rango de los valores en los padres y sus híbridos</u>									
		cm	cm		cm	cm	cm		
Híbridos		32.5-47.7	45.7-60.1	4.10-9.43	165.8-339.3	43.5-59.2	16.9-65.2	2.20-4.93	0.307-0.480
Padres		30.7-43.8	43.9-62.0	3.70-7.53	130.2-294.2	36.6-53.6	11.3-38.8	1.60-4.26	0.300-0.497

g.l. = Grados de libertad

** Significativo al 0.01 de probabilidad

altura de planta, los híbridos alcanzaron un valor máximo de 47.7 cm mientras que para los padres fue de 43.8, resultando algo similar para las características número de raíces nodales, suma total de raíces, raíz nodal más larga entre otras; sobresaliendo en la mayor parte de las características los híbridos, ya que tuvieron el valor más alto con respecto a los padres. Únicamente en las características longitud raíz seminal y proporción raíz/vástago los padres obtuvieron el valor más alto.

En los Cuadros 3a, 3b, 3c y 3d se muestran las medias de cada uno de los genotipos (híbridos y padres).

Para la característica altura de planta el 58% de los híbridos fueron superiores a su media, destacando 25 X 34, 27 X 30 y 27 X 33, entre otros; los mismos que alcanzaron valores superiores a 46 cm. Por lo que respecta a los padres sólo el 45% de ellos fueron superiores a su media, entre los que destacan: la línea 25, 28 y 29.

Para longitud raíz seminal la media se vió sobrepasada por el 50% de los híbridos, siendo los más sobresalientes los siguientes: 25 X 29, 25 X 30, 25 X 35, 28 X 32 y 28 X 34 con valores iguales ó superiores a 58 cm. Por otro lado el 55% de los padres alcanzaron valores superiores a su media, destacando con valores mayores de 53 cm las líneas 29, 32, 34 y 35.

Cuadro 3a. MEDIAS, HETEROSIS Y HETEROBELTIOSIS PARA LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO.

Nº	Genotipo	Altura de planta			Longitud raíz seminal		
		\bar{x} cm	H'	H''	\bar{x} cm	H'	H''
				Híbridos	F1		
1	25 X 29	44.2	1.1	0.9	60.1	14.5	12.7
2	25 X 30	46.0	12.6	5.0	58.2	12.4	12.1
3	25 X 31	44.0	16.4	0.4	52.9	6.0	2.3
4	25 X 32	39.6	0.6	-9.6	55.8	-1.8	-10.0
5	25 X 33	46.1	15.0	5.2	46.6	-6.1	-9.9
6	25 X 34	46.2	6.8	5.4	57.0	8.5	6.7
7	25 X 35	39.7	6.6	-9.4	58.3	9.5	6.3
8	27 X 29	45.2	8.5	3.6	53.6	8.5	0.5
9	27 X 30	47.7	22.9*	20.1*	55.7	14.4	7.3
10	27 X 31	36.0	0.7	-9.4	49.6	6.0	3.1
11	27 X 32	37.7	1.1	-5.1	57.8	7.5	-6.8
12	27 X 33	47.4	24.6*	19.3*	52.0	11.7	9.2
13	27 X 34	44.5	8.0	4.2	54.4	10.0	1.8
14	27 X 35	38.4	9.1	-3.3	52.7	5.1	-3.9
15	28 X 29	44.2	1.6	1.3	49.0	-5.3	-8.1
16	28 X 30	42.3	4.1	-2.6	56.1	9.9	8.0
17	28 X 31	41.1	9.3	-5.3	45.7	-7.0	-9.0
18	28 X 32	37.4	-4.5	-13.9	58.0	3.4	-6.5
19	28 X 33	43.7	9.5	0.6	54.3	11.0	8.1
20	28 X 34	44.6	3.6	2.7	58.0	12.0	8.6
21	28 X 35	38.0	2.6	-12.5	52.8	0.6	-3.7
22	26 X 29	36.3	-7.3	-16.8*	52.9	8.8	-0.8
23	26 X 32	32.5	-6.7	-6.9	52.0	-1.8	-16.2
24	26 X 33	42.5	19.4*	16.7	54.0	18.0	13.4
		$\bar{x}=41.9$			$\bar{x}=54.1$		
		Líneas androestériles (A)					
25	A 35	43.8			51.7		
26	A 4R	34.8			43.9		
27	A Tx 3197	39.7			45.5		
28	A Tx 623	43.4			50.2		
		Líneas restauradoras (R)					
29	OTE - 25	43.6			53.3		
30	OTE - 32	37.9			51.9		
31	OTE - 20	31.8			48.1		
32	Tx 7078	34.9			62.0		
33	M35 - 1	36.4			47.6		
34	OTE - 19	42.7			53.4		
35	Tx 7000	30.7			54.8		
		$\bar{x}=38.2$			$\bar{x}=51.1$		
		Variedad comercial homocigótica (T)					
36	H.B.R.	31.2			46.7		

H' = % Heterosis ; H'' = % Heterobeltiosis ; (T) = Testigo

H.B.R. = Hegari Blanco Regular

* = Significativo al 0.05 de probabilidad

Cuadro 3b. MEDIAS, HETEROSIS Y HETEROBELTIOSIS PARA LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO.

Nº	Genotipo	Número de raíces nodales			Suma total de raíces		
		\bar{x}	H'	H''	\bar{x} cm	H'	H''
Híbridos F ₁							
1	25 X 29	7.46	6.9	4.1	274.1	16.8	15.0
2	25 X 30	6.70	19.0	-6.5	272.2	24.1	17.7
3	25 X 31	5.93	9.2	-17.2	221.2	22.4	-4.4
4	25 X 32	7.30	-0.6	-3.1	276.5	5.3	-6.1
5	25 X 33	7.33	5.3	2.3	251.1	14.2	8.6
6	25 X 34	7.60	10.5	6.1	300.7	29.2	28.2
7	25 X 35	7.83	13.3	9.3	304.9	33.5*	31.8
8	27 X 29	8.13	19.9	19.5	293.9	28.6	23.3
9	27 X 30	6.76	24.5	0.0	284.0	33.3	29.8
10	27 X 31	5.66	8.2	-16.3	213.7	22.5	-2.3
11	27 X 32	8.70	21.8	15.5	339.3	32.2*	15.3
12	27 X 33	6.83	1.0	1.0	278.2	30.2	27.2
13	27 X 34	8.26	23.7	22.1	294.2	29.9	25.5
14	27 X 35	8.36	24.6	23.6	295.1	32.8*	30.8
15	28 X 29	6.20	4.2	-8.9	210.3	-3.4	-11.8
16	28 X 30	4.60	0.0	-9.9	213.6	5.6	2.9
17	28 X 31	4.10	-6.8	-19.7	165.8	1.3	-15.9
18	28 X 32	7.70	21.9	2.2	280.2	14.1	-4.8
19	28 X 33	5.70	-3.9	-15.7	217.8	7.3	4.3
20	28 X 34	5.13	-12.3	-22.3	226.7	5.1	-3.3
21	28 X 35	7.76	32.0	16.5	271.1	28.3	20.1
22	26 X 19	9.10	39.4*	33.8*	311.2	50.7*	30.6
23	26 X 32	7.00	1.5	-7.1	222.5	-5.1	-24.4
24	26 X 33	9.43	44.9*	39.4*	306.5	60.2*	46.8*
		$\bar{x}=7.10$			$\bar{x}=263.5$		
Líneas androestériles (A)							
25	A 35	7.16			231.2		
26	A 4R	6.26			174.8		
27	A Tx 3197	6.76			218.7		
28	A Tx 623	5.10			197.1		
Líneas restauradoras (R)							
29	OTE - 25	6.80			238.2		
30	OTE - 32	4.10			207.4		
31	OTE - 20	3.70			130.2		
32	Tx 7078	7.53			294.2		
33	M35 - 1	6.76			208.7		
34	OTE - 19	6.60			234.4		
35	Tx 7000	6.66			225.6		
		$\bar{x}=6.13$			$\bar{x}=214.6$		
Variedad comercial homocigótica (T)							
36	H.B.R.	5.26			207.9		

H' = % Heterosis ; H'' = % Heterobeltiosis ; (T) = Testigo

H.B.R. = Hegari Blanco Regular

* = Significativo al 0.05 de probabilidad

Cuadro 3c. MEDIAS, HETEROSIS Y HETEROBELTIOSIS PARA LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO.

Nº	Genotipo	Raíz nodal más larga			Suma de excedentes después de 40 cm		
		\bar{x} cm	H'	H''	\bar{x} cm	H'	H''
Híbridos F ₁							
1	25 X 29	58.2	16.0	8.5	60.2	86.1*	55.1
2	25 X 30	57.1	17.0	12.1	52.6	81.1	63.3
3	25 X 31	52.3	23.2*	11.9	35.0	88.2	35.1
4	25 X 32	52.7	5.1	-1.7	44.2	12.6	-16.0
5	25 X 33	51.9	14.2	11.1	37.5	88.4	44.7
6	25 X 34	54.2	17.3	16.0	54.2	89.8	73.7
7	25 X 35	56.1	24.4*	20.1*	59.2	150.8*	128.5*
8	27 X 29	57.4	14.9	7.0	60.8	102.0*	56.7
9	27 X 30	54.5	12.1	7.0	54.6	103.7*	69.5
10	27 X 31	44.8	6.0	-3.3	27.0	65.1	26.1
11	27 X 32	57.2	14.5	6.7	65.2	76.2*	23.9
12	27 X 33	54.8	21.1*	18.3	48.1	172.5*	124.7
13	27 X 34	55.9	21.5*	20.7*	60.6	130.4*	94.2*
14	27 X 35	52.0	15.8	12.3	47.3	121.5	121.0
15	28 X 29	54.3	2.8	1.3	32.1	-8.5	-17.3
16	28 X 30	52.0	1.1	0.0	40.7	28.0	26.3
17	28 X 31	45.6	1.1	-2.4	16.9	-20.8	-46.2
18	28 X 32	59.2	12.1	10.4	62.0	47.6	17.8
19	28 X 33	49.9	3.7	-4.1	33.4	47.5	6.3
20	28 X 34	51.1	4.6	-1.8	39.0	24.6	24.2
21	28 X 35	52.6	10.2	1.1	41.0	55.6	30.5
22	26 X 29	54.0	19.7	0.7	45.4	69.4	17.0
23	26 X 32	43.5	-3.5	-18.9	24.2	-28.2	-54.0
24	26 X 33	52.4	29.7*	18.5	45.2	215.0*	205.4*
		$\bar{x}=53.1$			$\bar{x}=45.3$		
Líneas androestériles (A)							
25	A 35	46.7			25.9		
26	A 4R	36.6			14.8		
27	A Tx 3197	46.3			21.4		
28	A Tx 623	52.0			31.4		
Líneas restauradoras (R)							
29	OTE - 25	53.6			38.8		
30	OTE - 32	50.9			32.2		
31	OTE - 20	38.2			11.3		
32	Tx 7078	53.6			52.6		
33	M35 - 1	44.2			13.9		
34	OTE - 19	45.7			31.2		
35	Tx 7000	43.5			21.3		
		$\bar{x}=46.5$			$\bar{x}=26.8$		
Variedad comercial homocigótica (T)							
36	H.B.R.	49.0			18.9		

H' = % Heterosis ; H'' = % Heterobeltiosis ; (T) = Testigo
 H.B.R. = Hegari Blanco Regular

* = Significativo al 0.05 de probabilidad

Cuadro 3d. MEDIAS, HETEROSIS Y HETEROBELTIOSIS PARA LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO.

Nº	Genotipo	Número de raíces mayores de 40 cm			Proporción raíz/vástago		
		\bar{x}	H'	H''	\bar{x}	H'	H''
Híbridos F ₁							
1	25 X 29	4.06	16.7	7.9	0.390	9.9	-2.5
2	25 X 30	4.53	36.7	32.0	0.447	-0.3	-10.1
3	25 X 31	3.20	33.3	0.0	0.417	8.3	4.2
4	25 X 32	4.20	12.6	-1.5	0.390	-2.5	-2.5
5	25 X 33	3.60	37.7	12.5	0.333	-14.6	-16.8
6	25 X 34	4.76	51.1	48.7	0.413	-0.8	-4.7
7	25 X 35	4.66	62.7*	45.6	0.393	3.4	-1.8
8	27 X 29	4.46	32.7	18.6	0.360	18.0	16.1
9	27 X 30	4.70	47.1	37.0	0.350	-12.2	-29.6*
10	27 X 31	2.43	6.6	-18.0	0.357	6.6	-3.6
11	27 X 32	4.93	36.6	15.7	0.413	18.0	3.2
12	27 X 33	4.00	60.3	35.1	0.320	-5.9	-15.8
13	27 X 34	4.43	46.2	42.9	0.323	-11.9	-25.5*
14	27 X 35	4.20	53.0	41.8	0.333	0.9	-7.5
15	28 X 29	3.03	-10.8	-19.5	0.343	-1.6	-11.4
16	28 X 30	3.20	-0.9	-6.8	0.480	8.6	-3.5
17	28 X 31	2.36	1.9	-22.2	0.397	4.9	2.5
18	28 X 32	4.16	14.1	-2.4	0.427	8.5	6.7
19	28 X 33	2.93	15.8	-3.4	0.307	-19.9	-20.7
20	28 X 34	3.30	7.7	6.4	0.370	-9.8	-14.6
21	28 X 35	4.10	47.5	35.3	0.397	6.3	2.5
22	26 X 29	4.26	56.0	13.2	0.390	16.9	9.2
23	26 X 32	2.20	-26.2	-48.4*	0.417	10.2	4.2
24	26 X 33	4.16	123.1*	104.9*	0.350	-5.0	-7.9
		$\bar{x}=3.80$			$\bar{x}=0.380$		
Líneas androestériles (A)							
25	A 35	3.20			0.400		
26	A 4R	1.70			0.357		
27	A Tx 3197	2.96			0.300		
28	A Tx 623	3.03			0.387		
Líneas restauradoras (R)							
29	OTE - 25	3.76			0.310		
30	OTE - 32	3.43			0.497		
31	OTE - 20	1.60			0.370		
32	Tx 7078	4.26			0.400		
33	M35 - 1	2.03			0.380		
34	OTE - 19	3.10			0.433		
35	Tx 7000	2.53			0.360		
		$\bar{x}=2.87$			$\bar{x}=0.381$		
Variedad comercial homocigótica (T)							
36	H.B.R.	2.66			0.430		

H' = % Heterosis ; H'' = % Heterobeltiosis ; (T) = Testigo

H.B.R. = Hegari Blanco Regular

* = Significativo al 0.05 de probabilidad

En cuanto al número de raíces nodales el 54% de los híbridos fueron superiores a su media, siendo los siguientes: 27 X 32, 27 X 35, 26 X 29 y 26 X 33 con valores arriba de 8.3 raíces. En cuanto a los padres, el 73% de ellos superaron a su media siendo los mejores 32 y 25 con valores de 7.53 y 7.16 raíces respectivamente.

En la característica suma total de raíces el 63% de los híbridos sobrepasaron a su media, destacando los siguientes: 27 X 32, 26 X 29 y 26 X 33; con valores superiores a 306 cm. El 55% de los padres superaron su media, destacando el 29, 32 y 34 que estuvieron arriba de los 234 cm.

Para la característica raíz nodal más larga el 50% de los híbridos fueron superiores a su media, siendo los más sobresalientes: 25 X 29, 27 X 29 y 28 X 32, entre otros, con valores superiores a 57 cm. El 45% de los padres alcanzaron valores superiores a su media destacando con valores mayores de 52 cm el 28, 29 y 32.

Al igual que para la característica anterior, el 50% de los híbridos fueron superiores al valor de su media para la característica suma de excedentes después de 40 cm; entre los que destacan 25 X 29, 27 X 29, 27 X 32, 27 X 34 y 28 X 32 con valores arriba de 60 cm. Por lo que respecta a los padres el 45% de ellos superaron su media, en donde los mejores fueron el 29 y 30 con valores de 38.8 y 32.2 cm respectivamente.

En cuanto a la característica número de raíces mayores de 40 cm, el 63% de los híbridos sobrepasaron su media, siendo: 25 X 34, 25 X 35, 27 X 30 y 27 X 32 cuyos valores superaron a 4.6 raíces. Por lo que respecta a los padres el 64% de ellos superaron su media; teniendo arriba de 3.4 raíces el 29, 30 y 32.

Para proporción raíz/vástago el 54% de los híbridos fueron superiores a su media, siendo los más sobresalientes: 25 X 30, 28 X 30 y 28 X 32 con valores superiores a 0.420. El 45% de los padres alcanzaron valores superiores a su media, destacando con valores mayores de 0.430 el 30 y 34.

4.1.3. Heterosis y heterobeltiosis

En los Cuadros 3a, 3b, 3c y 3d se presentan los porcentajes de heterosis (H') y heterobeltiosis (H'') para cada una de las características del sistema radical.

Para la característica altura de planta el 79% de los híbridos presentaron heterosis, entre los cuales se puede mencionar a los siguientes: 27 X 33 (24.6%), 27 X 30 (22.9%) y el 26 X 33 (19.4%), todos ellos con heterosis estadísticamente significativa al 0.05 de probabilidad.

Por otro lado el 54% de los híbridos fueron superiores a su mejor padre entre los que se puede mencionar a los siguientes: 27 X 30 (20.1%) y 27 X 33 (19.3%), los mismos que tuvieron heterobeltiosis estadísticamente significativa al

0.05 de probabilidad.

Para longitud de raíz seminal, el 75% de los híbridos presentaron heterosis, siendo: 25 X 29, 27 X 30 y 26 X 33 los que obtuvieron los valores más altos que van de 14.4 a 18.0%, siendo todos ellos no-significativos.

Por otro lado, el 58% de los híbridos mostraron heterobeltiosis alcanzando los valores más altos, el 26 X 33 (13.4%), 25 X 29 (12.7%) y 25 X 30 (12.1%), no teniendo ninguno de ellos significancia estadística.

El 79% de los híbridos mostraron heterosis para la característica número de raíces nodales, sólo el 26 X 33 (44.9%) y el 26 X 29 (39.4%) mostraron significancia al 0.05 de probabilidad.

Por otra parte comparándolos con su progenitor superior, el 54% de los híbridos manifestaron heterobeltiosis, sobresaliendo 26 X 33 (39.4%) y 26 X 29 (33.8%) con valores estadísticamente significativos al 0.05 de probabilidad.

Para suma total de raíces el 83% de los híbridos mostraron heterosis, sobresaliendo 26 X 33 (60.2%), 26 X 29 (50.7%) y 25 X 35 (33.5%) entre otros, los mismos que fueron estadísticamente significativos al 0.05 de probabilidad.

En cuanto a heterobeltiosis el 67% de los híbridos superaron a su progenitor superior, sobresaliendo el híbrido 26 X 33 (46.8%) que fue el único que alcanzó significancia estadística al 0.05 de probabilidad.

Por lo que se refiere a la característica raíz nodal más larga, el 96% de los híbridos manifestaron heterosis, destacando: 25 X 31, 25 X 35, 27 X 33, 27 X 34 y el 26 X 33, siendo estadísticamente significativos al 0.05 de probabilidad, los porcentajes oscilan de 21.1 a 29.7%.

En cuanto a heterobeltiosis el 71% de los híbridos superaron a su progenitor superior, mostrando significancia estadística al 0.05 de probabilidad: 27 X 34 (20.7%) y el 25 X 35 (20.1%).

Por lo que se refiere a suma de excedentes después de 40 cm el 88% de los híbridos presentan heterosis, sobresaliendo: 26 X 33 (215.0%), 27 X 33 (172.5%) y 25 X 35 (150.8%) con los porcentajes más altos, además presentan significancia al 0.05 de probabilidad.

El 83% de los híbridos superó a su progenitor superior destacando por sus valores significativos al 0.05 de probabilidad 26 X 33 (205.4%), 25 X 35 (128.5%) y 27 X 34 (94.2%).

En la característica número de raíces mayores de 40 cm el 88% de los híbridos manifestaron heterosis sobresaliendo 26 X 33 (123.1%) y 25 X 35 (62.7%), además presentan significancia estadística al 0.05 de probabilidad.

El 63% de los híbridos mostraron heterobeltiosis, resultando únicamente con significancia estadística el híbrido 26 X 33 (104.9%).

Finalmente para la característica proporción raíz/vás-

tago. el 54% de los híbridos presentaron heterosis. Los híbridos 27 X 29, 27 X 32 y 26 X 29 obtuvieron los valores más altos de heterosis oscilando ésta de 16.9 a 18%, ninguno de los híbridos mostró significancia estadística al 0.05 de probabilidad.

Manifestaron heterobeltiosis el 33% de los híbridos, destacando los híbridos 27 X 29 (16.1%) y 26 X 29 (9.2%), siendo no significativos.

4.1.4. Correlaciones fenotípicas

En el Cuadro 4 se presentan los coeficientes de correlación entre las diferentes características estudiadas del sistema radical.

La característica número de raíces mayores de 40 cm resultó altamente correlacionada al 0.01 de probabilidad con todas las características a excepción de proporción raíz/vástago (0.049). Las correlaciones más altas las obtuvo con suma de excedentes después de 40 cm (0.936), suma total de raíces (0.920) y raíz nodal más larga (0.887).

También se puede mencionar que la característica longitud de raíz seminal presenta coeficientes de correlación altamente significativos con suma de excedentes después de 40 cm (0.779); número de raíces mayores de 40 cm (0.700); suma total de raíces (0.664) y raíz nodal más larga (0.662).

Cuadro 4. CORRELACIONES FENOTIPICAS ENTRE LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS DE SORGO BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO.

	Longitud raíz seminal	Número de raíces nodales	Suma total de raíces	Raíz nodal más larga	Suma de excedentes después de 40 cm	Número de raíces mayores de 40 cm	Proporción raíz/vástago
Altura de planta	0.225	0.120	0.287	0.549**	0.461**	0.485**	-0.206
Longitud raíz seminal		0.381*	0.664**	0.662**	0.779**	0.700**	0.288
Número de raíces nodales			0.867**	0.486**	0.629**	0.669**	-0.245
Suma total de raíces				0.764**	0.881**	0.920**	-0.029
Raíz nodal más larga					0.898**	0.887**	0.088
Suma de excedentes después de 40 cm						0.936**	0.055
Número de raíces mayores de 40 cm							0.049

* Significativo al 0.05 de probabilidad

** Significativo al 0.01 de probabilidad

La característica proporción raíz/vástago obtuvo las correlaciones más bajas con el resto de las características, no siendo ninguna de ellas significativa estadísticamente.

4.2. Estudio de Pérdida de Agua en Hojas Cortadas

4.2.1. Análisis de varianza

En el Cuadro 5 se presentan los cuadrados medios para cada una de las fuentes de variación, así como los coeficientes de variabilidad para la característica pérdida de agua a las 24 y 48 horas.

Se encontró para pérdida de agua a las 24 y 48 horas diferencias estadísticamente significativas al 0.01 de probabilidad entre los genotipos. Los coeficientes de variabilidad no pasaron del 7.5%.

4.2.2. Rangos y medias

En el Cuadro 5 se pueden ver los rangos de medias tanto para los híbridos como para los padres, y se observa que para la característica pérdida de agua a las 24 horas, los híbridos tuvieron el rango (58.40 a 69.33%) más bajo con respecto al de los padres (60.38 a 75.68%). En la pérdida de agua a las 48 horas se observó algo similar, siendo el rango de los híbridos (75.87 a 85.75%) sobrepasado por el de los padres (77.61 a 90.43%).

Cuadro 5. ANALISIS DE VARIANZA Y RANGOS PARA LA PERDIDA DE AGUA A LAS 24 Y 48 HORAS EN HOJAS CORTADAS.

Fuentes de variación	g.l.	Pérdida de agua a las 24 horas	Pérdida de agua a las 48 horas
Genotipos	35	113.45**	52.42**
Repeticiones	2	30.97	11.38
Error	70	25.10	12.17
C.V.		7.5 %	4.2 %

Rango de los valores en los padres y sus híbridos

	%	%
Híbridos	58.40-69.33	75.87-85.75
Padres	60.38-75.68	77.61-90.43

g.l. = Grados de libertad

** Significativo al 0.01 de probabilidad

En el Cuadro 6 se muestran las medias de cada uno de los 36 genotipos de este estudio.

Para la característica pérdida de agua, se consideran como genotipos sobresalientes aquellos que tengan menos porcentaje de pérdida de agua.

Para pérdida de agua a las 24 horas, el 50% de los híbridos fueron inferiores a su media, destacando: 26 X 32, 25 X 32, 27 X 33 y 25 X 35; cuyos porcentajes son 59.31, 58.61, 58.56 y 58.4 respectivamente. Por lo que respecta a los padres, el 45% de ellos fueron menores a su media, siendo los más sobresalientes por sus valores más bajos el 26, 35 y 29; con 65.19, 60.38 y 57.41% respectivamente.

En la pérdida de agua a las 48 horas, el 46% de los híbridos tuvieron valores menores a su media, sobresaliendo con valores menores de 77.15% el 25 X 32, 25 X 35, 27 X 33 y 26 X 32. Por otro lado, el 45% de los padres fueron menores a su media, destacando por sus valores abajo de 82% los siguientes: 26, 29 y 35.

4.2.3. Heterosis y heterobeltiosis

En el Cuadro 6 se presentan los porcentajes de heterosis (H') y heterobeltiosis (H'') para cada una de las características de pérdida de agua en hojas cortadas.

Cuadro 6. PERDIDA DE AGUA, HETEROSIS Y HETEROBELTIOSIS A LAS 24 y 48 HORAS EN HOJAS CORTADAS.

Nº	Genotipo	Pérdida de agua a las 24 horas			Pérdida de agua a las 48 horas		
		\bar{x} %	H'	H''	\bar{x} %	H'	H''
Híbridos F ₁							
1	25 X 29	64.57	-1.3	-12.1	79.62	-3.4	-8.5*
2	25 X 30	69.33	-4.7	-5.6	85.75	-0.8	-1.5
3	25 X 31	64.59	-8.5	-12.1	79.94	-7.5	-8.1
4	25 X 32	58.61	-16.6*	-20.2*	77.12	-9.6*	-11.4*
5	25 X 33	63.79	-12.0	-13.2	81.79	-5.1	-6.0
6	25 X 34	63.98	-13.7*	-14.6*	82.07	-7.5	-9.3
7	25 X 35	58.40	-12.7	-20.5*	76.72	-6.8	-11.8*
8	27 X 29	65.62	-1.4	-13.3*	82.53	-0.3	-5.8
9	27 X 30	65.12	-11.9	-14.0*	80.81	-6.9	-7.8
10	27 X 31	63.20	-11.9	-16.5*	79.66	-8.1*	-9.1*
11	27 X 32	62.41	-12.6	-17.6*	78.01	-8.9*	-11.0*
12	27 X 33	58.56	-20.5*	-22.7*	76.46	-11.6*	-12.8*
13	27 X 34	61.94	-17.7*	-18.2*	79.68	-10.5*	-11.9*
14	27 X 35	62.10	-8.7	-18.0*	79.02	-4.3	-9.9*
15	28 X 29	69.27	11.5	3.5	84.90	5.8	2.7
16	28 X 30	71.09	2.3	-1.5	84.38	0.0	-1.9
17	28 X 31	66.89	-0.7	-1.4	82.82	-1.6	-3.5
18	28 X 32	67.25	0.4	0.1	82.44	-0.8	-1.5
19	28 X 33	67.36	-2.7	-5.9	85.08	1.3	-0.4
20	28 X 34	67.61	-4.6	-9.8	84.23	-2.6	-6.9
21	28 X 35	66.52	4.6	-0.6	81.87	2.2	-0.9
22	26 X 29	63.55	3.7	-2.6	82.05	2.7	0.2
23	26 X 32	59.31	-10.4	-11.7	75.87	-8.3	-9.4*
24	26 X 33	63.70	-6.8	-11.0	80.99	-3.1	-5.2
		$\bar{x}=64.36$			$\bar{x}=80.99$		
Líneas mantenedoras (B)							
25	B 35	73.43			86.98		
26	B 4R	65.19			81.87		
27	B Tx 3197	75.68			87.61		
28	B Tx 623	66.87			82.61		
Líneas restauradoras (R)							
29	OTE - 25	57.41			77.90		
30	OTE - 32	72.12			85.99		
31	OTE - 20	67.81			85.77		
32	Tx 7078	67.13			83.66		
33	M35 - 1	71.55			85.36		
34	OTE - 19	74.91			90.43		
35	Tx 7000	60.38			77.61		
		$\bar{x}=68.40$			$\bar{x}=84.16$		
Variedad comercial homocigótica (T)							
36	H.B.R.	89.97			96.04		

H' = % Heterosis ; H'' = % Heterobeliosis ; (T) = Testigo
H.B.R. = Hegari Blanco Regular
* = Significativo al 0.05 de probabilidad

Para la característica pérdida de agua a las 24 horas el 79% de los híbridos manifestaron heterosis negativa, entre los que sobresalen por sus porcentajes más bajos los siguientes: 27 X 33 (-20.5%), 27 X 34 (-17.7%), 25 X 32 (-16.6%) y 25 X 34 (-13.7%), siendo los únicos con significancia estadística al 0.05 de probabilidad.

El 92% de los híbridos mostraron heterobeltiosis negativa, de los cuales diez resultaron con significancia estadística al 0.05 de probabilidad, destacando por sus valores más bajos el 27 X 33 (-22.7%), 25 X 35 (-20.5%) y 25 X 32 (-20.2%).

En la pérdida de agua a las 48 horas, se observó en forma general lo mismo que en la pérdida de agua a las 24 horas. El 79% de los híbridos manifestaron heterosis negativa, destacando por sus porcentajes más bajos y con significancia estadística al 0.05 de probabilidad los siguientes 27 X 33 (-11.6%), 27 X 34 (-10.5%) y 27 X 32 (8.9%), entre otros.

El 92% de los híbridos mostraron heterobeltiosis negativa, de los cuales nueve fueron significativos estadísticamente al 0.05 de probabilidad, destacando por sus porcentajes más bajos el 27 X 33 (-12.8%) y el 27 X 34 (-11.9%).

4.2.4. Correlaciones fenotípicas

El coeficiente de correlación (0.960) entre pérdida de agua a las 24 horas y 48 horas fue estadísticamente sig-

nificativo al 0.01 de probabilidad.

4.3. Ensayo de Rendimiento Bajo Condiciones de Sequía

4.3.1. Análisis de varianza

Los cuadrados medios y los coeficientes de variabilidad de las tres características estudiadas bajo condiciones de sequía se presentan en el Cuadro 7.

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas al 0.01 de probabilidad entre los genotipos, para las tres características estudiadas. Los coeficientes de variabilidad no pasaron del 17.1% en las tres características, siendo rendimiento de grano la que alcanzó el valor más alto.

4.3.2. Rangos y medias

En el Cuadro 7 se pueden ver también los rangos de medias para los híbridos y padres. Donde se observa que el rango en los híbridos para días a floración fluctuó de 63.0 a 75.7 días y en los padres de 61.7 a 83.7 días. Para altura de planta el rango resultó más alto en los híbridos que en los padres, siendo estos de 92 a 231 cm y de 78 a 212 cm respectivamente. En cuanto a rendimiento de grano, el rango de los híbridos osciló entre 4532 y 9688 kg/ha, mientras que para los padres fue de 2899 a 5874 kg/ha.

Cuadro 7. CUADRADOS MEDIOS Y RANGOS DE LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS ESTUDIADAS BAJO CONDICIONES DE SEQUIA.

Fuentes de variación	g.l.	Días a floración	Altura de planta	Rendimiento de grano
Repeticiones	3	36.16**	77.31	696,569
Bloque Incomp.	20	4.47	77.98	1,107,480
Genotipos	35	98.57**	7480.00**	8,011,510**
Error	85	1.31	80.09	1,020,130
C.V.		1.7 %	0	17.1 %

Rango de los valores en los padres y sus híbridos

		cm	kg/ha
Híbridos	63.0-75.7	92-231	4532-9688
Padres	61.7-83.7	78-212	2899-5874

g.l. = Grados de libertad

** Significativo al 0.01 de probabilidad

En los Cuadros 8a y 8b, se pueden ver las medias de cada uno de los 36 genotipos (híbridos y padres).

Para la característica días a floración y altura de planta, se consideran como sobresalientes aquellos genotipos que tengan los valores más bajos por ser lo más deseable para este cultivo: precocidad y porte bajo.

Para la característica días a floración el 50% de los híbridos resultaron con valores inferiores a su media, destacando por su precocidad los siguientes: 25 X 29, 27 X 29 y 26 X 29; teniendo valores menores ó iguales a 63.7 días. Por lo que respecta a los padres el 55% de ellos fueron menores que su media, sobresaliendo el 29 y 32 cuyos valores estuvieron por debajo de los 66.3 días.

Por lo que respecta a altura de planta, el 63% de los híbridos tuvieron valores menores a su media, destacando por su porte más bajo los siguientes: 25 X 32 (110 cm), 25 X 35 (106 cm), 27 X 35 (107 cm) y 26 X 32 (92 cm). Por otro lado, el 64% de los padres fueron menores a su media, destacando el 25 y 26 con 87 y 78 cm respectivamente.

En la característica rendimiento de grano, el 42% de los híbridos fueron superiores a su media, sobresaliendo por sus rendimientos el 28 X 34, 28 X 30, 25 X 30 y 27 X 30 con promedios de 9688, 8744, 7979 y 7914 kg/ha respectivamente. En cuanto a los padres el 73% de ellos fueron superiores a

Cuadro 8a. MEDIAS, HETEROSIS Y HETEROBELTIOSIS DE LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS DE SORGO BAJO CONDICIONES DE SEQUIA.

Nº	Genotipo	Días a floración			Altura de planta		
		\bar{x}	H'	H''	\bar{x} cm	H'	H''
Híbridos F ₁							
1	25 X 29	63.0	-5.0*	-11.3*	115	26.4*	21.0
2	25 X 30	74.0	-4.3*	-11.6*	173	58.0*	31.0*
3	25 X 31	68.2	-5.9*	-7.9*	133	27.3*	9.0
4	25 X 32	65.0	-5.2*	-8.5*	110	24.3	22.2
5	25 X 33	69.0	-8.1*	-12.9*	227	51.8*	7.0
6	25 X 34	72.7	-2.7	-7.4*	167	48.4*	21.0*
7	25 X 35	70.5	0.0	-0.8	106	14.6	8.1
8	27 X 29	63.7	-2.9	-8.4*	112	8.7	0.9
9	27 X 30	70.7	-7.7*	-15.6*	172	41.6*	30.3*
10	27 X 31	68.0	-5.2*	-8.2*	141	21.0*	15.5
11	27 X 32	64.2	-5.4*	-7.7*	116	15.4	4.5
12	27 X 33	68.5	-7.9*	-13.6*	231	43.0*	8.9
13	27 X 34	72.2	-2.4	-8.1*	170	36.5*	23.1*
14	27 X 35	68.5	-1.8	-2.2	107	2.4	-3.7
15	28 X 29	64.2	-4.0	-10.9*	132	28.2*	18.9
16	28 X 30	75.7	-2.8	-9.6*	166	36.6*	25.7*
17	28 X 31	75.2	3.0	1.6	146	25.3*	19.6*
18	28 X 32	65.5	-5.2*	-9.1*	127	26.4*	14.4
19	28 X 33	70.0	-7.4*	-11.7*	230	42.4*	8.4
20	28 X 34	74.0	-1.7	-5.8*	183	47.0*	32.6*
21	28 X 35	69.7	-1.8	-3.2	125	19.6*	12.6
22	26 X 29	63.7	-7.5*	-16.2*	113	30.6*	18.9
23	26 X 32	67.5	-5.1*	-11.2*	92	9.5	2.2
24	26 X 33	72.5	-6.6*	-8.5*	220	51.7*	3.7
		$\bar{x}=69.0$			$\bar{x}=151$		
Líneas mantenedoras (B)							
25	B 35	71.0			87		
26	B 4R	76.0			78		
27	B Tx 3197	69.5			111		
28	B Tx 623	72.0			111		
Líneas restauradoras (R)							
29	OTE - 25	61.7			95		
30	OTE - 32	83.7			132		
31	OTE - 20	74.0			122		
32	Tx 7078	66.2			90		
33	M35 - 1	79.2			212		
34	OTE - 19	78.5			138		
35	Tx 7000	70.0			98		
		$\bar{x}=72.9$			$\bar{x}=116$		
Variedad comercial homocigótica (T)							
36	H.B.R.	73.2			138		

H' = % Heterosis ; H'' = % Heterobeltiosis ; (T) = Testigo
H.B.R. = Hegari Blanco Regular
* = Significativo al 0.05 de probabilidad

Cuadro 8b. MEDIAS, HETEROSIS Y HETEROBELTIOSIS DE LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS DE SORGO BAJO CONDICIONES DE SEQUIA.

Nº	Genotipo	Rendimiento de grano		
		\bar{x} kg/ha	H'	H''
Híbridos F ₁				
1	25 X 29	6092	54.0	21.5
2	25 X 30	7979	105.9*	64.4*
3	25 X 31	5991	46.2	13.1
4	25 X 32	6320	62.6	29.6
5	25 X 33	7886	123.1*	89.1*
6	25 X 34	7290	66.2*	24.1
7	25 X 35	5295	28.8	-0.6
8	27 X 29	4899	9.0	-2.3
9	27 X 30	7914	79.3*	63.1*
10	27 X 31	5258	13.4	-0.7
11	27 X 32	4532	2.4	-7.1
12	27 X 33	6826	67.6*	63.7*
13	27 X 34	7545	53.2*	28.4
14	27 X 35	5365	15.3	0.7
15	28 X 29	5320	1.6	-2.6
16	28 X 30	8744	69.6*	60.1*
17	28 X 31	6362	18.3	16.5
18	28 X 32	6187	19.7	13.3
19	28 X 33	6285	30.5	15.1
20	28 X 34	9688	71.0*	64.9*
21	28 X 35	5632	4.4	3.1
22	26 X 29	5512	8.8	7.6
23	26 X 32	5952	19.1	16.2
24	26 X 33	7516	61.8*	46.7
		$\bar{x}=6516$		
Líneas mantenedoras (B)				
25	B 35	2899		
26	B 4R	5120		
27	B Tx 3197	3978		
28	B Tx 623	5460		
Líneas restauradoras (R)				
29	OTE - 25	5011		
30	OTE - 32	4851		
31	OTE - 20	5294		
32	Tx 7078	4874		
33	M35 - 1	4169		
34	OTE - 19	5874		
35	Tx 7000	5325		
		$\bar{x}=4805$		
Variedad comercial homocigótica (T)				
26	H.B.R.	4480		

H' = % Heterosis ; H'' = % Heterobeltiosis ; (T) = Testigo

H.B.R. = Hegari Blanco Regular

* = Significativo al 0.05 de probabilidad

su media, siendo los de mayor rendimiento el 34 (5878 kg/ha), 28 (5460 kg/ha) y 35 (5325 kg/ha).

4.3.3. Heterosis y heterobeltiosis

En los Cuadros 8a y 8b se presentan los porcentajes de heterosis (H') y heterobeltiosis (H"), para las características observadas en el ensayo de rendimiento bajo condiciones de sequía.

Para la característica días a floración, el 92% de los híbridos manifestaron heterosis negativa, sobresaliendo: 25 X 33 (-8.1%), 27 X 33 (-7.9%) y 27 X 30 (-7.7%) entre otros; tales porcentajes fueron estadísticamente significativos al 0.05 de probabilidad.

El 96% de los híbridos mostraron heterobeltiosis negativa de los cuales destacan por su significancia al 0.05 de probabilidad los siguientes: el 26 X 29 (-16.2%), 27 X 30 (-15.6%) y 27 X 33 (-13.6), entre otros.

En altura de planta no hubo híbridos con heterosis negativa que es lo más deseable en esta característica. Los híbridos 27 X 29 (8.7%) y 27 X 35 (2.4%) alcanzaron los valores más bajos de heterosis positiva sin ser significativos. Los híbridos 25 X 30 (58.0%), 25 X 33 (51.8%) y 26 X 33 (51.7%) entre otros, alcanzaron los valores de heterosis significativos más altos.

En cuanto a heterobeltiosis sólo el 4% de los híbridos

obtuvieron porcentajes negativos, siendo el híbrido 27 X 35 (-3.7%) el que alcanzó el valor más bajo, sin tener significancia estadística.

Para rendimiento de grano el 100% de los híbridos manifestaron heterosis, destacando los híbridos 25 X 33 (123.1%), 25 X 30 (105.9%) y 27 X 30 (79.3%), entre otros; siendo además estadísticamente significativos al 0.05 de probabilidad.

El 79% de los híbridos fueron superiores sobre su mejor padre, por ejemplo: 25 X 33 (89.1%), 28 X 34 (64.9%) y 25 X 30 (64.4%); entre otros, los mismos que fueron estadísticamente significativos al 0.05 de probabilidad.

4.4. Ensayo de Rendimiento Bajo Condiciones de Riego

4.4.1. Análisis de varianza

En el Cuadro 9 se presentan los cuadrados medios de cada una de las fuentes de variación, así como los coeficientes de variabilidad.

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas al 0.01 de probabilidad entre los genotipos, para las tres características estudiadas. El coeficiente de variabilidad más alto lo tuvo la característica rendimiento de grano que fue de 18.7%.

4.4.2. Rangos y medias

Cuadro 9. CUADRADOS MEDIOS Y RANGOS DE LAS SIGUIENTES CARACTERÍSTICAS ESTUDIADAS BAJO CONDICIONES DE RIEGO.

Fuentes de variación	g.l.	Días a floración	Altura de planta	Rendimiento de grano
Repeticiones	3	4.98*	47.6	6,199,800**
Bloque Incomp.	20	5.29	89.1	1,326,910
Genotipos	35	105.44**	10346.8**	7,083,500**
Error	85	1.63	69.2	1,310,270
C.V.		1.95 %	0	18.7 %

Rango de los valores en los padres y sus híbridos

		cm	kg/ha
Híbridos	62.0-75.7	107-271	4980-9620
Padres	61.2-82.2	101-241	3395-6366

g.l. = Grados de libertad

* Significativo al 0.05 de probabilidad

** Significativo al 0.01 de probabilidad

En el mismo Cuadro 9 se pueden ver también los rangos de medias para los híbridos y padres. Donde se observa que el rango en los híbridos para días a floración fluctuó de 62.0 a 75.7 días, mientras que en los padres fue de 61.2 a 82.2 días. Para altura de planta el rango resultó más alto en los híbridos que en los padres, siendo estos de 107 a 271 cm y de 101 a 241 cm respectivamente. Para la característica rendimiento de grano, el valor máximo fue para los híbridos con 9620 kg/ha, mientras que para los padres fue de 6366 kg/ha.

En los Cuadros 10a y 10b se presentan las medias de ca da uno de los 36 genotipos (híbridos y padres).

Las características días a floración y altura de planta se consideraron de importancia en este estudio, ya que aquellos genotipos que tengan los valores más bajos en ambos casos, serán los más precoces y de porte aceptable.

Para la característica días a floración, el 50% de los híbridos resultaron con valores inferiores a su media, desta cando por su precocidad los siguientes: 25 X 29, 27 X 29 y 26 X 29, los mismos que tuvieron valores menores o iguales a 64.5 días. Por lo que respecta a los padres, el 55% de ellos fueron menores que su media, sobresaliendo por sus valores abajo de 66.1 días el 29 y 32.

Para altura de planta, el 58% de los híbridos tuvieron

Cuadro 10a. MEDIAS, HETEROSIS Y HETEROBELTIOSIS DE LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS DE SORGO BAJO CONDICIONES DE RIEGO.

Nº	Genotipo	Días a floración			Altura de planta		
		\bar{x}	H'	H''	\bar{x} cm	H'	H''
Híbridos F ₁							
1	25 X 29	62,7	-4.8	-11.1*	126	18.9	14.5
2	25 X 30	74.7	-2.2	-9.2*	218	72.3*	52.4*
3	25 X 31	69,2	-4.7*	-7.4*	151	24.8*	14.3
4	25 X 32	65.7	-3.7	-6.9*	121	11.5	10.0
5	25 X 33	67.7	-10.0*	-15.4*	271	54.4*	12.4
6	25 X 34	75.5	1,2	-4.1	207	61.7*	41.7*
7	25 X 35	70.5	0.6	0.0	138	22.7*	20.0*
8	27 X 29	64.5	-2.4	-9.2*	127	11.9	1.6
9	27 X 30	69.2	-9.7*	-15.9*	181	35.1*	26.5*
10	27 X 31	68,2	-6.4*	-8.8*	145	12.8	9.8
11	27 X 32	65.0	-5.1*	-8.5*	130	12.1	4.0
12	27 X 33	68.2	-9.7*	-14.8*	262	43.2*	8.7
13	27 X 34	72.5	-3.1	-7.9*	200	47.6*	36.9*
14	27 X 35	67.7	-3,8	-4.7	122	1,7	-2.4
15	28 X 29	64.7	-3.4	-11.1*	146	27.5*	14.9
16	28 X 30	75.7	-2.3	-8.0*	207	53.3*	44.7*
17	28 X 31	76.7	4.1	2.6	141	8.9	6.8
18	28 X 32	66.7	-3.8	-8.3*	150	28.2*	18.1*
19	28 X 33	69.5	-9.0*	-13.2*	252	37.0*	4.5
20	28 X 34	73.7	-2.6	-6.4*	207	51.6*	41.7*
21	28 X 35	70.2	-1,4	-3.5	145	19.8*	14.1
22	26 X 29	62,0	-8.6*	-16.8*	107	5.4	4.9
23	26 X 32	67.5	-3,9	-9.4*	107	2.9	0.0
24	26 X 33	71.2	-7.8*	-11.0*	257	50.2*	6.6
		$\bar{x}=69.1$			$\bar{x}=171$		
Líneas mantenedoras (B)							
25	B 35	70.5			110		
26	B 4R	74.5			101		
27	B Tx 3197	71.0			125		
28	B Tx 623	72.7			127		
Líneas restauradoras (R)							
29	OTE - 25	61.2			102		
30	OTE - 32	82.2			143		
31	OTE - 20	74.7			132		
32	Tx 7078	66.0			107		
33	M35 - 1	80.0			241		
34	OTE - 19	78.7			146		
35	Tx 7000	69.7			115		
		$\bar{x}=72.8$			$\bar{x}=132$		
Variedad comercial homocigótica (T)							
36	H.B.R.	77.5			151		

H' = % Heterosis ; H'' = % Heterobeltiosis ; (T) = Testigo

H.B.R. = Hegari Blanco Regular

* = Significativo al 0.05 de probabilidad

Cuadro 10b. MEDIAS, HETEROSIS Y HETEROBELTIOSIS DE LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS DE SORGO BAJO CONDICIONES DE RIEGO.

Nº	Genotipo	Rendimiento de grano		
		\bar{x} kg/ha	H'	H''
Híbridos F ₁				
1	25 X 29	6144	51.3	30.0
2	25 X 30	8348	77.2*	38.5
3	25 X 31	6348	30.1	-0.3
4	25 X 32	6088	52.1	32.0
5	25 X 33	5832	63.4	55.7
6	25 X 34	7315	61.1	28.6
7	25 X 35	5421	30.4	10.2
8	27 X 29	6253	32.5	32.3
9	27 X 30	8161	51.9	35.4
10	27 X 31	6099	10.1	-4.2
11	27 X 32	5519	18.4	17.0
12	27 X 33	6807	60.9	44.3
13	27 X 34	7540	45.0	32.6
14	27 X 35	6402	32.9	30.2
15	28 X 29	5088	-4.6	-14.4
16	28 X 30	8932	49.2*	48.1*
17	28 X 31	7159	16.3	12.4
18	28 X 32	7057	33.7	18.7
19	28 X 33	6263	29.3	5.3
20	28 X 34	9620	65.4*	61.8*
21	28 X 35	5744	5.8	-3.4
22	26 X 29	4980	-0.8	-6.4
23	26 X 32	5157	3.9	-3.0
24	26 X 33	5401	19.2	1.5
		$\bar{x}=6570$		
Líneas mantenedoras (B)				
25	B 35	3395		
26	B 4R	5316		
27	B Tx 3197	4715		
28	B Tx 623	5943		
Líneas restauradoras (A)				
29	OTE - 25	4726		
30	OTE - 32	6027		
31	OTE - 20	6366		
32	Tx 7078	4611		
33	M35 - 1	3745		
34	OTE - 19	5686		
35	Tx 7000	4917		
		$\bar{x}=5041$		
Variedad comercial homocigótica (T)				
36	H.B.R.	6494		

H' = % Heterosis ; H'' = % Heterobeltiosis ; (T) = Testigo

H.B.R. = Hegari Blanco Regular

* = Significativo al 0.05 de probabilidad

valores menores a su media, destacando por su porte más bajo los siguientes: 25 X 32, 26 X 29 y 26 X 32, cuyos promedios fueron 121, 107 y 107 cm respectivamente. Por otro lado, el 64% de los padres fueron menores a su media, destacando el 29 y 26 con 102 y 101 cm respectivamente.

En la característica rendimiento de grano, el 38% de los híbridos fueron superiores a su media, sobresaliendo los siguientes: 28 X 34, 28 X 30 y 25 X 30 con promedios de 9620, 8932 y 8348 kg/ha respectivamente. En cuanto a los padres, el 45% superaron a su media, siendo los más sobresalientes el 28x 30 y 31 con rendimientos arriba de 5900 kg/ha.

4.4.3. Heterosis y heterobeltiosis

En los Cuadros 10a y 10b se presentan los porcentajes de heterosis (H') y heterobeltiosis (H''), para cada una de las características estudiadas en el ensayo de rendimiento bajo condiciones de riego.

En la característica días a floración el 88% de los híbridos fueron más precoces que sus padres como: 25 X 33 (-10.0%), 27 X 33 (-9.7%) y 28 X 33 (-9.0%) entre otros, los mismos que fueron estadísticamente significativos al 0.05 de probabilidad.

El 92% de los híbridos mostraron inferioridad sobre su mejor padre por ejemplo: el 26 X 29 (-16.8%), 27 X 30 (-15.9%) y 25 X 33 (-15.4%) entre otros, cuyos porcentajes

fueron estadísticamente significativos al 0.05 de probabilidad.

En altura de planta no hubo híbridos con heterosis negativa que es lo más deseable en esta característica. Los híbridos 26 X 32 (2.9%) y 27 X 35 (1.7%) alcanzaron los valores más bajos de heterosis positiva sin tener significancia estadística. Los híbridos 25 X 30 (72.3%), 25 X 34 (61.7%) y el 25 X 33 (54.4%), entre otros, alcanzaron los porcentajes más altos de heterosis, teniendo estos significancia estadística al 0.05 de probabilidad.

En cuanto a heterobeltiosis sólo el 4% de los híbridos fueron inferiores a su mejor padre como en el caso del híbrido 27 X 35 (-2.4%).

Para rendimiento de grano el 92% de los híbridos manifestaron heterosis, destacando los híbridos 25 X 30 (77.2%), 28 X 34 (65.4%) y el 28 X 30 (49.2%), los mismos que fueron estadísticamente significativos al 0.05 de probabilidad.

El 75% de los híbridos presentaron heterobeltiosis, sobresaliendo los híbridos 28 X 34 (61.8%) y 28 X 30 (48.1%), siendo sus porcentajes estadísticamente significativos al 0.05 de probabilidad.

4.4.4. Correlaciones fenotípicas entre las características de ambos ambientes

En el Cuadro 11 se presentan los coeficientes de correlación, que resultaron de comparar las características bajo

Cuadro 11. CORRELACIONES FENOTIPICAS ENTRE LAS CARACTERISTICAS DEL ENSAYO DE RENDIMIENTO EN CONDICIONES DE SEQUIA Y EN CONDICIONES DE RIEGO.

	Altura de planta (sequía)	Rendimiento de grano (sequía)	Días a floración (riego)	Altura de planta (riego)	Rendimiento de grano (riego)
Días a floración (sequía)	0.303	0.138	0.973**	0.317	0.209
Altura de planta (sequía)		0.590**	0.282	0.978**	0.395*
Rendimiento de grano (sequía)			0.100	0.614**	0.825**
Días a floración (riego)				0.298	0.237
Altura de planta (riego)					0.398**

* Significativo al 0.05 de probabilidad

** Significativo al 0.01 de probabilidad

condiciones de sequía y de riego.

Para días a floración (sequía y riego) se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.973, siendo éste altamente significativo (al 0.01 de probabilidad). Entre altura de planta de ambos ambientes hubo correlación (0.978) con alta significancia estadística. Por lo que respecta a rendimiento de grano (sequía y riego), alcanzaron un coeficiente de correlación de 0.825 siendo altamente significativo.

La característica altura de planta en sequía, tuvo coeficientes de correlación altamente significativos (al 0.01 de probabilidad) con rendimiento de grano en sequía (0.590), y sólo significativos (0.05 de probabilidad) con el rendimiento de grano en riego (0.395). Con respecto a altura de planta en riego, ésta obtuvo coeficientes altamente significativos con el rendimiento en sequía (0.614) y en riego (0.398).

Los días a floración en sequía resultó poco correlacionada y sin significancia estadística con el rendimiento de grano en sequía (0.138) y con el rendimiento bajo riego (0.209). Algo muy similar se observó para días a floración bajo riego teniendo coeficientes de 0.100 con el rendimiento en sequía y de 0.237 con el rendimiento bajo riego, sin ser significativos estadísticamente.

4.5. Correlaciones Fenotípicas entre las Características Seleccionadas del Sistema Radical y Pérdida de Agua en Hojas Cortadas y Rendimiento.

Al correlacionar el rendimiento en ambos ambientes, con las características más representativas del sistema radical y de pérdida de agua en hojas cortadas (Cuadro 12), se obtuvo que longitud de raíz seminal estaba correlacionada significativamente (0.05 de probabilidad) con el rendimiento de grano en sequía (0.340). Suma de excedentes después de 40 cm correlacionó significativamente con el rendimiento en sequía (0.336) y con el de riego (0.326).

El rendimiento de grano en sequía obtuvo correlaciones bajas y sin significancia estadística con las siguientes características: raíz nodal más larga (0.299), proporción raíz/vástago (0.032), número de raíces nodales (-0.059) y pérdida de agua a las 48 horas (-0.175).

En cuanto al rendimiento de grano en riego, resultó con asociaciones bajas y sin significancia estadística con las características siguientes: raíz nodal más larga (0.306), longitud de raíz seminal (0.302), proporción raíz/vástago (0.197), pérdida de agua a las 48 horas (0.027) y número de raíces nodales (-0.300).

Cuadro 12. CORRELACIONES FENOTIPICAS ENTRE LAS CARACTERISTICAS SELECCIONADAS DEL SISTEMA RADICAL, PERDIDA DE AGUA EN HOJAS CORTADAS Y RENDIMIENTO DE GRANO BAJO CONDICIONES DE SEQUIA Y RIEGO.

	Número de raíces nodales	Raíz nodal más larga	Suma de excedentes después de 40 cm	Proporción raíz/vástago	Pérdida de agua a las 48 horas	Rendimiento de grano en sequía	Rendimiento de grano en riego
Longitud de raíz seminal	0.381*	0.662**	0.779**	0.288	-0.318	0.340*	0.302
Número de raíces nodales		0.486**	0.629**	-0.245	-0.405*	-0.059	-0.300
Raíz nodal más larga			0.898**	0.055	-0.237	0.299	0.306
Suma de excedentes después de 40 cm				0.055	-0.403*	0.336*	0.326*
Proporción raíz/vástago					0.295	0.032	0.197
Pérdida de agua a las 48 horas						-0.175	0.027
Rendimiento de grano en sequía							0.825**

* Significativo al 0.05 de probabilidad

** Significativo al 0.01 de probabilidad

V. DISCUSION

5.1. Estudio de Raíces

5.1.1. Análisis de varianza

De acuerdo con los resultados encontrados en esta investigación, se comprobó que existe amplia variabilidad genética en las características del sistema radical, lo cual concuerda con los reportes de Nour y Weibel (1978), en el que reportan variabilidad para proporción raíz/vástago, suma total de raíces y volumen de raíces. Así como también con lo publicado por Jordan et al (1979), en el cual concluyen que existe variabilidad genética para suma de raíces, número de raíces, raíz más larga y proporción raíz/vástago.

Los coeficientes de variabilidad presentados en el Cuadro 2 indican confiabilidad de los datos para todas las características, a excepción de suma de excedentes después de 40 cm (35%) y número de raíces mayores de 40 cm (23%). Probablemente estos coeficientes de variación altos, se deban a error de medición ó conteo. Otra de las posibles causas, es que las características suma de excedentes después de 40 cm y número de raíces después de 40 cm, podrían ser afectadas por factores del microambiente (como déficit de humedad, luz, nutrientes, entre otras). Se necesita más investigación en rela

ción a estas características, para poder cuantificar la magnitud de tales coeficientes de variación.

5.1.2. Rangos y medias

En lo referente a rangos, los híbridos sobrepasaron a los padres en todas las características, a excepción de longitud de raíz seminal y proporción raíz/vástago, como se puede observar en el Cuadro 2. Lo cual demuestra una vez más que la heterosis está en función de la variabilidad genética.

Por lo que respecta a medias, los híbridos Tx 3197 X Tx 7078, Tx 623 X Tx 7078, 35 X OTE - 32 y 35 X OTE - 25, fueron los que más sobresalieron en varias características (raíz nodal más larga, número de raíces nodales, suma de excedentes después de 40 cm, entre otras). Los mejores progenitores para combinaciones híbridas fueron el OTE - 25 y el Tx 7078 las cuales produjeron híbridos sobresalientes en varias características.

5.1.3. Heterosis y heterobeltiosis

En los Cuadros 3a, 3b, 3c y 3d se puede observar que los valores de heterosis fueron más altos que los de heterobeltiosis para el mismo híbrido, lo anterior hace pensar que en términos de mejoramiento de una especie, la heterosis no es un parámetro útil, ya que aunque sea significativo su valor, el híbrido no necesariamente supera al progenitor supe-

rior, sin embargo en la heterobeltiosis si. Por lo que para características en las que se quiera que estas superen al padre superior es preferible usar heterobeltiosis. Fonseca y Patterson (1968) trabajando con trigo y Sánchez (1983) en tomate, coinciden en esta recomendación.

Manifestaron heterobeltiosis significativa las características número de raíces nodales (39.4%), suma total de raíces (46.8%), raíz nodal más larga (20.7%), suma de excedentes después de 40 cm (205.4%) y número de raíces mayores de 40 cm (104.9%). Las características longitud raíz seminal (13.4%) y proporción raíz/vástago (9.2%) no tuvieron heterobeltiosis significativa. Blum et al (1977) encontraron heterobeltiosis para número de raíces nodales, suma total de raíces y también para longitud de raíz seminal.

Se incluyeron en este trabajo las características suma de excedentes después de 40 cm y número de raíces mayores de 40 cm, ya que de acuerdo a la literatura revisada, las raíces ayudan a evitar la sequía, absorbiendo el agua almacenada en las capas más bajas del suelo que no ha sido aprovechada, ya que la mayoría de las raíces se encuentran en las primeras capas, que es donde se agota el agua primeramente. Ningún trabajo de los revisados reporta estudios sobre estas características.

Falconer (1970), indica que el grado de heterosis depende principalmente de la dominancia y la diversidad genética;

coincidiendo con lo encontrado en este estudio (variabilidad genética y heterosis), lo cual puede ser empleado para el mejoramiento genético del sistema radical.

5.1.4. Correlaciones fenotípicas

Los resultados del análisis de correlación, indican que la selección para suma total de raíces, característica muy laboriosa en su registro, puede ser simplificada, en un programa de mejoramiento mediante observaciones al número de raíces nodales, número de raíces mayores de 40 cm, o a longitud de raíz nodal más larga, las cuales tuvieron los siguientes coeficientes de correlación altamente significativos con respecto a suma total de raíces: 0.867, 0.920 y 0.664 respectivamente. Blum et al (1977) encontraron que la suma total de raíces está correlacionada significativamente con longitud de raíz más larga, concordando con los datos aquí presentados.

En general el análisis de correlación nos permite limitar a dos características el estudio del sistema radical: número de raíces mayores de 40 cm y proporción raíz/vástago. En donde selección para la primera implica selección indirecta para el resto de las características, ya que alcanzó coeficientes altos y significativos en todas las características, a excepción de proporción raíz/vástago, por lo que tiene que hacerse selección directa en esta última ya que no está altamente correlacionada con ninguna característica del sistema radical.

5.2. Pérdida de Agua en Hojas Cortadas a las 24 y 48 Horas

5.2.1. Análisis de varianza

También se encontró amplia variabilidad genética entre los genotipos estudiados, para la característica pérdida de agua en hojas cortadas a las 24 y a las 48 horas. En trigo, Sandhu y Laude (1958), reportaron amplia variabilidad entre diferentes líneas de este cultivo. En sorgo no hay evidencias sobre pérdida de agua en hojas cortadas, pero sí de comportamiento de estomas; en el que Henzell et al (1976), concluyeron que la sensibilidad estomática varió significativamente entre los genotipos, durante el desarrollo del déficit de agua.

Por lo que respecta al coeficiente de variabilidad, en ambas características éste fue menor de 7.6%, indicando confiabilidad de los datos.

5.2.2. Rangos y medias

Tanto en pérdida de agua a las 24 como a las 48 horas, los híbridos tuvieron el rango más bajo con respecto a los padres, lo cual indica que los híbridos fueron mejores que sus padres para reducir la pérdida de agua.

Los híbridos que tuvieron las medias más sobresalientes en relación a menor pérdida de agua en ambas pruebas fueron: 35 X Tx 7078, 35 X Tx 7000, Tx 3197 x M35 -1 y 4R X Tx 7078,

con valores inferiores a 59.32 y 77.13% a las 24 y 48 horas respectivamente. Los mejores padres evaluados per se fueron: 4R, OTE - 25 y Tx 7000, con valores menores de 65.20 y 81.88% a las 24 y 48 horas respectivamente.

5.2.3. Heterosis y heterobeltiosis

En el Cuadro 6 se puede ver que para la mayoría de los híbridos no hubo heterosis ni heterobeltiosis, siendo ambas estadísticamente significativas al 0.05 de probabilidad, tanto para pérdida de agua a las 24 como a las 48 horas. Indicando con esto que los híbridos fueron superiores a sus padres en cuanto a reducción de pérdida de agua.

Los híbridos más sobresalientes en cuanto a menor heterosis en pérdida de agua a las 24 horas fueron: Tx 3197 X M35 - 1 (-20.5%), Tx 3197 X OTE - 19 (-17.7%) y 35 X Tx 7078 (-16.6%). Estos mismos híbridos sobresalieron en pérdida de agua a las 48 horas. Los padres más sobresalientes en las combinaciones híbridas fueron: Tx 3197, M35 - 1, OTE - 19, 35 y Tx 7078 ya que produjeron los menores porcentajes de heterosis en pérdida de agua a las 24 y 48 horas.

Los híbridos en general, tuvieron valores más bajos que la media de sus padres en ambas pruebas, indicando que la pérdida de agua se reduce en las combinaciones híbridas, haciendo al híbrido más resistente a la sequía que sus padres.

5.2.4. Correlaciones fenotípicas

Para pérdida de agua a las 24 y 48 horas se produjo un coeficiente de correlación de 0.960, siendo este estadísticamente significativo al 0.01 de probabilidad, lo cual explica la gran similitud de los resultados en ambas pruebas. Sandhu y Laude (1958), trabajando con trigo y Hernández (1983) usando líneas de frijol, llegaron a resultados semejantes entre la pérdida de agua a diferentes intervalos de tiempo. Lo anterior permite reducir a una las pruebas de pérdida de agua, tal y como la literatura lo reporta.

5.3. Ensayo de Rendimiento en Condiciones de Sequía y Riego

5.3.1. Análisis de varianza

Los análisis de varianza que se presentan en los Cuadros 7 y 9, indican que existe variabilidad genética para todas las características estudiadas en ambos ambientes, indicando que los materiales son adecuados para el estudio de vigor híbrido (Falconer, 1960).

La confiabilidad de los datos es aceptable, ya que los coeficientes de variabilidad no exceden al 19%.

5.3.2. Rangos y medias

En la característica días a floración en ambos ambientes, los híbridos tuvieron el rango más bajo con respecto a los padres, lo cual indica que los híbridos fueron más preco

ces que sus progenitores.

En cuanto a altura de planta, tanto en sequía como en riego, los híbridos sobrepasaron el rango de los padres, lo cual señala que los híbridos resultaron más altos que sus padres.

Para rendimiento de grano los híbridos excedieron el rango de los padres en ambos ambientes, observando que en sequía había mayor ventaja del híbrido sobre sus padres que en el de riego, lo cual nos corrobora que el híbrido es más resistente a la sequía que sus padres, y que los padres fueron seleccionados para condiciones de sequía.

En cuanto a las medias, se observó que los días a floración en ambos ambientes eran muy similares, lo que probablemente se debió a que la sequía empezó al inicio de la floración, afectándola mínimamente.

Los híbridos en el ambiente de riego fueron más altos que en sequía, lo que puede explicarse, ya que en este primero, se tuvieron todos los factores favorables (agua, nutrientes, entre otros).

Los híbridos 35 X Tx 7078 y Tx 623 X Tx 7078 resultaron los más sobresalientes agronómicamente para las tres características (días a floración, altura de planta y rendimiento) estudiadas en ambos ambientes, siendo los más precoces, teniendo altura normal y los de mejor rendimiento. Los

mejores progenitores per se agronómicamente fueron las líneas OTE - 20, Tx 623 y OTE - 25.

5.3.3. Heterosis y heterobeltiosis

Para la característica días a floración los híbridos fueron más precoces que los padres tanto en condiciones de sequía como de riego, esto se puede corroborar viendo las columnas de heterosis y heterobeltiosis que se presentan en los Cuadros 8a y 10a. Entre los híbridos con más baja heterosis se puede mencionar a 35 X OTE - 20, Tx 3197 X OTE - 32, Tx 3197 X M35 - 1 y 4R X OTE - 25, cuyos porcentajes de heterosis fueron estadísticamente significativos al 0.05 de probabilidad. Los mejores padres en combinaciones híbridas fueron el 35, OTE - 20 y Tx 3197, con promedios de 71.0, 74.0 y 69.5 días a floración respectivamente.

En cuanto a altura de planta se refiere, la mayoría de los híbridos fueron más altos que sus padres, tanto en condiciones de sequía como de riego. Los híbridos que presentaron menor heterosis bajo sequía fueron los siguientes 4R X Tx 7078, Tx 3197 X OTE - 25 y Tx 3197 X Tx 7000 con 9.5, 8.7 y 2.4% respectivamente. La manifestación de heterosis para altura de planta, es una característica indeseable, ya que los individuos altos son más competitivos (luz, agua, nutrientes, entre otros) que los de porte normal o enano, además que dificultan la cosecha mecánica.

Para rendimiento de grano, la mayor parte de los híbridos fueron superiores a sus progenitores, como se puede ver en los Cuadros 8b y 10b, tanto en condiciones de sequía como de riego, entre los que sobresalen por sus heterosis más altas en ambos ambientes: 35 X OTE - 32, 35 X M35 - 1, Tx 623 X OTE - 32 y Tx 623 X OTE - 19; cabe hacer mención que los porcentajes de heterosis más altos estadísticamente significativos se obtuvieron bajo condiciones de sequía.

Por lo que respecta a heterobeltiosis, los híbridos anteriormente mencionados rindieron más que su mejor progenitor en sequía, siendo su magnitud estadísticamente significativa al 0.05 de probabilidad; en riego sólo dos híbridos presentaron heterobeltiosis significativa al 0.05 de probabilidad: Tx 623 X OTE - 32 y Tx 623 X OTE - 19.

En base a lo anteriormente mencionado, se concluye que los materiales bajo estudio tuvieron un comportamiento mucho mejor bajo sequía que riego, lo cual es de pensarse que tales materiales fueron seleccionados para condiciones desfavorables.

Los mejores padres en combinaciones híbridas fueron el OTE - 32, M35 - 1 y OTE - 19, con rendimientos per se de 4851, 4169 y 5874 kg/ha respectivamente en sequía, bajo riego fueron en el orden de 6027, 3745 y 5686 kg/ha en el mismo orden. Aunque el comportamiento de los padres en ambos ambientes (sequía y riego) fue más o menos similar, puede verse ligera ventaja en condiciones de sequía, corroborando lo

dicho renglones anteriores.

Phoelman (1976) reportó que los híbridos de sorgo resultaban más precoces, más altos y con mayor rendimiento de grano que sus padres, lo cual concuerda con lo discutido en los párrafos antes mencionados.

5.3.4. Correlaciones fenotípicas en ambos ambientes

Los coeficientes de correlación para días a floración, altura de planta y rendimiento, que se presentan en el Cuadro 11; fueron de gran magnitud estadísticamente significativos al 0.01 de probabilidad, indicando el mismo comportamiento en ambos ambientes (sequía y riego).

Lo anterior hace pensar que la sequía no fue muy severa, no obstante que al ensayo de sequía sólo se le dió el riego de germinación; además durante su desarrollo vegetativo no recibió riegos ni precipitación. Cabe hacer la aclaración que el suelo tenía reservas de humedad, ya que durante los tres meses antes de la siembra recibió 127 mm de precipitación.

Otra explicación podría ser que el déficit de agua lo empezó a manifestar la planta hasta los 50 días, aunado a esto, está que los materiales fueron seleccionados para condiciones de sequía, ambiente donde dan su máxima expresión, en contraste a condiciones óptimas de riego donde no tienen buen potencial de rendimiento, ya que no están adaptados pa-

ra tales condiciones.

5.4. Correlaciones entre las Características Seleccionadas del Sistema Radical, Pérdida de Agua en Hojas Cortadas y Rendimiento de Grano

Tomando como base los coeficientes de correlación del Cuadro 12, se infiere que la característica longitud de raíz seminal es la que estuvo mayormente correlacionada con número de raíces nodales (0.381), con raíz nodal más larga (0.662), con suma de excedentes después de 40 cm (0.779) y con rendimiento de grano en sequía (0.340). Lo anterior hace pensar que se puede practicar selección indirecta para rendimiento, con selección previa de raíces en el invernadero. No se le encontró correlación alguna con proporción raíz/vástago, pérdida de agua a las 48 horas y rendimiento de grano en riego.

Suma de excedentes después de 40 cm, fue otra de las características que estuvo correlacionada con el rendimiento en sequía y riego, con coeficientes de 0.336 y 0.326 respectivamente. Por lo que no hay la menor duda que la selección para rendimiento, debe hacerse poniendo énfasis principalmente en las características del sistema radical.

VI. CONCLUSIONES

1) Se encontró amplia variabilidad genética entre los genotipos, para todas las características estudiadas del sistema radical, pérdida de agua en hojas cortadas y en los ensayos de rendimiento (sequía y riego).

2) Manifestaron heterobeltiosis estadísticamente significativa al 0.05 de probabilidad las siguientes características: Número de raíces nodales, suma total de raíces, número de raíces mayores de 40 cm, entre otras; no siendo así para longitud raíz seminal y proporción raíz/vástago. Los híbridos más sobresalientes en este estudio fueron: Tx 3197 X Tx 7078, Tx 623 X Tx 7078, 35 X OTE - 32 y 35 X OTE - 25.

Para pérdida de agua a las 24 y 48 horas los híbridos fueron mejores que sus padres para reducir la pérdida de agua, entre los que sobresalen: 35 X Tx 7078, 35 X Tx 7000 y Tx 3197 X M35 - 1.

En rendimiento de grano la mayor respuesta heterótica la tuvieron los híbridos que se evaluaron bajo condiciones de sequía, sobresaliendo: 35 X OTE - 32, Tx 623 X OTE - 32 y Tx 623 X OTE - 19, entre otros.

3) Se encontraron correlaciones de gran magnitud para longitud de raíz seminal y número de raíces mayores de 40 cm, con el resto de las características del sistema radical (a excepción de proporción raíz/vástago).

4) Longitud de raíz seminal y suma de excedentes después de 40 cm, fueron los que estuvieron mayormente correlacionados con el resto de las características de este estudio (número de raíces nodales, raíz nodal más larga, suma de excedentes después de 40 cm, rendimiento en sequía y riego, entre otras). Lo anterior hace pensar en practicar selección indirecta para rendimiento con selección previa de raíces en el invernadero.

VII. BIBLIOGRAFIA

Ackerson, R.C.; D.R. Krieg; and F.J.M. Sung. 1980. Leaf conductance and osmoregulation of field-grown sorghum genotypes. *Crop Sci.* 20:10-14.

Atsmon, D. 1973. Breeding for drought resistance in field crops. In *Agricultural genetics, selected topics*. Ed. Rom Moav. John Wiley & sons. New York. p.p. 157-176.

Bhan, S.; H.G. Singh; and A. Singh. 1973. Note on root development as an index of drought resistance in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) *Indian J. Agric. Sci.* 43:828-830.

Blum, A. 1974. Genotypic responses in sorghum to drought stress. II. Leaf tissue water relations *Crop Sci.* 14: 691-692.

_____ ; and A. Ebercon. 1981. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. *Crop Sci.* 21:43-47.

_____ ; G.F. Arkin; and W.R. Jordan. 1977. Sorghum root morphogenesis and growth. I. Effect of maturity genes. *Crop Sci.* 17:149-153.

- _____ ; W.R. Jordan; and G.F. Arkin. 1977. Sorghum root morphogenesis and growth. II. Manifestation of heterosis. Crop Sci. 17:153-157.
- DGEA. 1974-1981. Información agropecuaria. Dirección General de Economía Agrícola. SAG. México.
- _____. 1981. Econotecnia agrícola. Consumos aparentes de productos agrícolas, Dirección General de Economía Agrícola. México. 5(9).
- Falconer, D.S. 1970. Introducción a la genética cuantitativa. CECSA. México. p.p. 303-310.
- Fonseca, S.; and F.L. Patterson. 1968. Hybrid vigor in a seven-parent diallel cross in common winter wheat. Crop Sci. 8:85-88.
- Henzell, R.G.; K.J. McCree; C.H.M. Van Bavel; and K.F. Shertz. 1976. Sorghum genotype variation in stomatal sensitivity to leaf water deficit. Crop Sci. 16:660-662.
- Hernández, R.F.F. 1983. Estudio de la variabilidad de algunas características en plántulas y plantas adultas en frijol. Tesis M.C. Colegio de Postgraduados. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México.
- Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. Ann. Rev. Plant Physiol. 24:519-70.
- Hurd, E.A. 1974. Phenotype and drought tolerance in wheat. Agricultural Meteorology. 14:39-55.

- _____. 1976. Plant breeding for drought resistance. In water deficits and plant growth Vol. IV. Academic Press Inc. New York. p.p. 317-351.
- Jordan, W.R.; F.R. Miller; and D.E. Morris. 1979. Genetic variation in root and shoot growth of sorghum in hydroponics. *Crop Sci.* 19:468-472.
- Kramer, P.J. 1963. Water stress and plant growth. *Agron. J.* 55:31-35.
- Levitt, J. 1972. Responses of plants to environmental stresses. Academic press. New York.
- Martin, J.H. 1930. The comparative drought resistance of sorghums and corn. *J. Am. Soc. Agron.* 22:993-1003.
- Maximov, N.A. 1946. Fisiologia vegetal. ACME. Buenos Aires.
- McClure, J.W.; and C. Harvey. 1962. Use of radiophosphorus in measuring root growth of sorghums. *Agron. J.* 54:427-459.
- McCree, K.J. 1974. Changes in the stomatal response characteristics of grain sorghum produced by water stress during growth. *Crop Sci.* 14:273-278.
- Nakayama, F.S.; and C.H.M. van Bavel. 1963. Root activity distribution patterns of sorghum and soil moisture conditions. *Agron. J.* 55:271-274.
- Nour, A.M.; and D.E. Weibel. 1978. Evaluation of root characteristics in grain sorghum. *Agron. J.* 70:217-218.

- Phoelman, J.M. 1976. Mejoramiento genético de las cosechas. Limusa, México.
- Salim, M.H.; and G.W. Todd. 1965. Transpiration patterns of wheat, barley and oat seedlings under varying conditions of soil moisture. Agron. J. 57:593-596.
- _____; _____; and C.A. Stutte. 1969. Evaluation of techniques for measuring drought avoidance in cereal seedlings. Agron. J. 61:182-185.
- Sánchez-Díaz, M.F.; y J.P. Kramer. 1971. Behavior of corn and sorghum under water stress and during recovery. Plant Physiol. 48:613-616.
- Sánchez, L.A. 1983. Evaluación de la aptitud combinatoria de algunos progenitores de tomate en base a caracteres de rendimiento y calidad. Tesis M.C. Colegio de Postgraduados. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México.
- Sandhu, A.S.; and H.H. Laude. 1958. Tests of drouth and heat hardiness of winter wheat. Agron. J. 50:78-81.
- Sieglinger, J.B. 1920. Temporary roots of the sorghums. J. Ame. Soc. Agron. 12:143-145.
- Snedecor, G.W.; y Cochran, W.G. 1979. Métodos estadísticos. Sexta impresión en español. Continental. México.
- Stout, D.G.; and G.M. Simpson. 1978. Drought resistance of Sorghum bicolor. 1. Drought avoidance mechanisms related to leaf water status. Can.J. Plant Sci. 58:213-224.

_____; T. Kannangara; and G.M. Graham. 1978. Drought resistance of Sorghum bicolor. 2. Water stress effects on growth. Can. J. Plant Sci. 58:225-233.

Todd, G.W.; and D.L. Webster. 1965. Effects of repeated drought periods on photosynthesis and survival of cereal seedlings. 57:399-404.