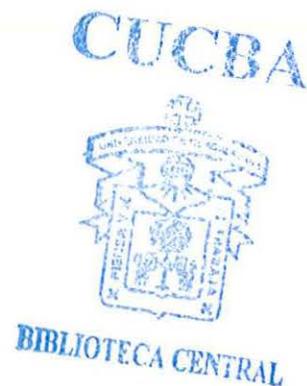


**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA**  
**CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**Y AGROPECUARIAS**

**DIVISION DE CIENCIAS AGRONOMICAS**  
**COORDINACION DE POSGRADO**



**SELECCION INDIVIDUAL EN LA POBLACION DE SORGO TP-17**  
**PARA RESISTENCIA A *Exserohilum turcicum* (Leo y Sug.)**  
**Y PORTE BAJO DE PLANTA, EN LA CIENEGA DE CHAPALA**

**Leonardo Soltero Díaz**

---

**T E S I S**

Presentada como requisito parcial  
para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS**  
**EN**  
**MANEJO DE AREAS DE TEMPORAL**

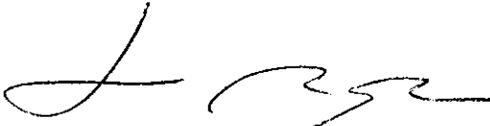
---

**Zapopan, Jal., Febrero de 1997**

Esta tesis fue realizada bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS  
EN  
MANEJO DE AREAS DE TEMPORAL

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTOR:   
\_\_\_\_\_

DR. JOSE RON PARRA

ASESOR:   
\_\_\_\_\_

DR. JOSE LUIS RAMIREZ DIAZ

ASESOR:   
\_\_\_\_\_

DR. DIEGO R. GONZALEZ EGUIARTE

Zapopan, Jalisco, Febrero de 1997

## AGRADECIMIENTOS

- Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), por el apoyo para la realización de mis estudios y las facilidades para el desarrollo de mi trabajo de investigación.
- A la Universidad de Guadalajara (U de G) y en especial al Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA), por la formación académica recibida.
- A los Drs. José Ron Parra, José Luis Ramírez Díaz y Diego R. González Eguiarte, por sus valiosas orientaciones y sugerencias en el análisis, revisión y corrección de este trabajo.
- Al Dr. J. Jesús Sánchez González, por su gran ayuda en el análisis estadístico de los resultados.
- Al M.C. Gabriel Vega Zaragoza, investigador de sorgo del Campo Experimental El Bajío-INIFAP, por facilitarme la población de sorgo, objeto de este trabajo.
- Al Dr. Leopoldo Mendoza Onofre, por orientarme en el mejoramiento de la población de sorgo.
- Al Sr. Alejandro Porras Martínez, ayudante de investigación, por su participación en el trabajo de campo.
- A la Srita. Margarita Lomelí García, por su ayuda mecanográfica.
- Al M.C. Salvador de La Paz Gutiérrez, por los ánimos recibidos para terminar este trabajo.
- A todos aquellos que de una u otra manera hicieron posible la culminación de este trabajo.

D E D I C A T O R I A

A mis padres, con mucho respeto

A mis maestros, por sus enseñanzas

A mis amigos, por sus consejos



C O N T E N I D O

BIBLIOTECA CENTRAL

	Pág.
INDICE DE CUADROS . . . . .	vi
INDICE DE FIGURAS . . . . .	viii
R E S U M E N . . . . .	ix
I. INTRODUCCION . . . . .	1
II. REVISION DE LITERATURA . . . . .	4
2.1. Definición y formación de una población . . . . .	4
2.2. Métodos para mejorar una población . . . . .	5
2.2.1. Método de selección individual . . . . .	11
2.3. Tipos de esterilidad masculina . . . . .	12
2.4. Aptitud combinatoria . . . . .	14
2.5. Utilización de poblaciones de sorgo . . . . .	15
2.6. Mejoramiento para resistencia a enfermedades en sorgo . . . . .	18
2.6.1. Tizón de la hoja <i>Exserohilum turcicum</i> (Leo y Sug.) . . . . .	18
2.7. Genética de la altura de planta . . . . .	20
III. MATERIALES Y METODOS . . . . .	22
3.1. Descripción del área de estudio . . . . .	22
3.2. Material genético utilizado . . . . .	22
3.3. Origen y desarrollo de la población TP-17 . . . . .	22
3.4. Características de la población TP-17 . . . . .	23
3.5. Adaptación de la población TP-17 en Ocotlán . . . . .	23
3.6. Método de selección . . . . .	25
3.7. Obtención de los ciclos de selección y recombinación . . . . .	25
3.8. Criterios de selección . . . . .	26
3.9. Presión de selección . . . . .	26
3.10. Formación de los compuestos balanceados . . . . .	26
3.11. Incorporación de material genético a la población TP-17 . . . . .	27
3.12. Formación de las cruzas (híbridos) para la evaluación de los ciclos de selección. . . . .	27
3.13. Evaluación de los ciclos de selección . . . . .	30
3.13.1. Diseño experimental . . . . .	30
3.13.2. Tamaño de parcelas experimental y útil . . . . .	31
3.14. Toma de datos en campo . . . . .	31
3.15. Análisis de los datos . . . . .	33
3.15.1. Análisis estadístico . . . . .	33

3.15.2.	Cálculos de aptitud combinatoria . . . . .	37
3.15.3.	Medición del avance de selección . . . . .	38
IV.	RESULTADOS Y DISCUSION . . . . .	40
4.1.	Análisis de varianza . . . . .	40
4.2.	Pruebas de medias . . . . .	44
4.2.1.	Tizón foliar . . . . .	44
4.2.2.	Altura de planta . . . . .	50
4.2.3.	Días a floración . . . . .	52
4.2.4.	Roya . . . . .	52
4.2.5.	Pudrición del tallo . . . . .	55
4.2.6.	Rendimiento de grano . . . . .	55
4.3.	Efectos de aptitud combinatoria general (ACG) . . . . .	57
4.3.1.	Efectos de ACG de ciclos . . . . .	58
4.3.1.1.	Tizón foliar. . . . .	58
4.3.1.2.	Altura de planta. . . . .	59
4.3.1.3.	Rendimiento. . . . .	61
4.3.1.4.	Días a floración, . . . . .	61
4.3.2.	Efectos de ACG de probadores . . . . .	62
4.3.2.1.	Tizón foliar. . . . .	62
4.3.2.2.	Altura de planta. . . . .	62
4.3.2.3.	Rendimiento. . . . .	64
4.4.	Efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) . . . . .	64
4.4.1.	Tizón foliar . . . . .	64
4.4.2.	Altura de planta . . . . .	68
4.4.3.	Días a floración, roya, pudrición de tallo y rendimiento . . . . .	69
5.5.	Respuesta a la selección . . . . .	69
5.5.1.	Ciclos a través de probadores . . . . .	70
5.5.2.	Ciclos <i>per se</i> . . . . .	72
5.5.3.	Probadores a través de ciclos . . . . .	72
V.	CONCLUSIONES . . . . .	78
VI.	BIBLIOGRAFIA . . . . .	80

INDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Líneas usadas como fuente de resistencia a <i>Fusarium spp</i> en la formación de la población original GPTM3BR(H) C4. . . . .	24
Cuadro 2. Líneas del programa de Ocotlán incorporadas a la población TP-17, como fuente de resistencia a <i>Exserohilum turcicum</i> para su recombinación en 1991. . . . .	28
Cuadro 3. Origen de los ciclos derivados de la población TP-17 y sus cruzas con cinco probadores. . . . .	29
Cuadro 4. Clasificación de cinco líneas utilizadas como probadores en función de la respuesta al tizón foliar y al tipo de germoplasma al que pertenecen. . . . .	30
Cuadro 5. Fuentes de variación (FV), grados de libertad (GL) y esperanzas de cuadrados medios (ECM) para el análisis de varianza individual (por año). . . . .	34
Cuadro 6. Fuentes de variación (FV), grados de libertad (GL) y esperanzas de cuadrados medios (ECM) para el análisis de varianza combinado (1993-94) de la evaluación ciclos x probadores. . . . .	36
Cuadro 7. Cuadrados medios del análisis de varianza para cinco caracteres agronómicos de las progenies de las cruzas ciclos x probadores en 1993. . . . .	41
Cuadro 8. Cuadrados medios del análisis de varianza para seis caracteres agronómicos de las progenies de las cruzas ciclos x probadores en 1994. . . . .	42
Cuadro 9. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado (1993-1994) para cinco caracteres agronómicos de las progenies de las cruzas ciclos x probadores. . . . .	43
Cuadro 10. Promedios de tizón foliar de ciclos a través de probadores y probadores a través de ciclos, por año y combinación de años. . . . .	46
Cuadro 11. Promedios de ciclos y probadores <i>per se</i> para tres caracteres agronómicos y rendimiento en 1994. . . . .	48

Cuadro 12. Promedios de altura de planta de ciclos a través de probadores y probadores a través de ciclos, por año y combinación de años. . . . .	51
Cuadro 13. Promedios de días a floración de ciclos a través de probadores y probadores a través de ciclos, por año y combinación de años. . . . .	53
Cuadro 14. Promedios de roya de ciclos a través de probadores y probadores a través de ciclos, por año y combinación de años. . . . .	54
Cuadro 15. Promedios de pudrición de tallo de ciclos a través de probadores y probadores a través de ciclos, por año y combinación de años. . . . .	56
Cuadro 16. Promedios de rendimiento de ciclos a través de probadores y probadores a través de ciclos en 1994. . .	57
Cuadro 17. Efectos estimados de aptitud combinatoria general (ACG) de ciclos, por año y combinación de años . . . . .	59
Cuadro 18. Efectos estimados de aptitud combinatoria general (ACG) de probadores, por año y combinación de años . . .	63
Cuadro 19. Efectos estimados de aptitud combinatoria específica (ACE) entre ciclos de selección y probadores en 1993. . . . .	65
Cuadro 20. Efectos estimados de aptitud combinatoria específica (ACE) entre ciclos de selección y probadores en 1994. . . . .	66
Cuadro 21. Efectos estimados de aptitud combinatoria específica (ACE) entre ciclos de selección y probadores para 1993-1994. . . . .	67
Cuadro 22. Coeficientes de regresión sobre ciclos de selección, para el promedio de ciclos a través de probadores, para ciclos <i>per se</i> (1994) y para cada probador a través de ciclos, en cuatro caracteres agronómicos promediados a través de 1993 y 1994. . . . .	70

## INDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Procedimiento para formar una población con apareamiento aleatorio, segregando para esterilidad masculina, al usar cuatro progenitores heterocigotos para el alelo <i>ms</i> , Fehr (1987) . . . . .	6
Figura 2. Interacción años x ciclos para tizón foliar <i>Exserohilum turcicum</i> (Leo y Sug.) (a) y altura de planta (b). . . . .	45
Figura 3. Efectos de aptitud combinatoria general para tizón foliar <i>Exserohilum turcicum</i> (Leo y Sug.) (a) y altura de planta (b). . . . .	60
Figura 4. Respuesta de tres ciclos de selección para tizón foliar <i>Exserohilum turcicum</i> (Leo y Sug.) (a) y altura de planta (b) en la población TP-17, ignorando probadores.	71
Figura 5. Respuesta de tres ciclos de selección, <i>per se</i> , para tizón foliar <i>Exserohilum turcicum</i> (Leo y Sug.) (a) y altura de planta (b), en la población TP-17. . . . .	73
Figura 6. Respuesta a la selección para tizón foliar <i>Exserohilum turcicum</i> (Leo y Sug.) en la población TP-17, para cada probador: a) E13A, b) B140A, c) ATx623, d) R5A y e) ATx627. . . . .	75
Figura 7. Respuesta a la selección para altura de planta en la población TP-17, para cada probador: a) E13A, b) B140A, c) ATx623, d) R5A y e) ATx627. . . . .	76

## R E S U M E N

Con el propósito de aprovechar el potencial genético de las poblaciones de sorgo y diversificar la base germoplásmica del programa de mejoramiento genético de sorgo de Ocotlán, a partir de 1989 se inició un proceso de mejoramiento por selección de plantas con androesterilidad genética de la población GPTM3BR(H)C<sub>4</sub> (TP-17) para resistencia al tizón foliar y altura de planta reducida. El presente trabajo consistió en evaluar cuatro ciclos de selección (C<sub>0</sub>, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> y C<sub>3</sub>) *per se* y en cruzas con probadores resistentes, tolerantes y susceptibles a tizón foliar, con diferente altura de planta y tipo de germoplasma. El trabajo se realizó en Ocotlán, Jalisco, en condiciones de campo y temporal durante 1993 y 1994. Se empleó el diseño experimental bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los datos se analizaron por ambiente y a través de ambientes mediante el diseño genético factorial de Comstock y Robinson (1952) descrito por Wricke y Weber (1986). Se realizaron pruebas de medias, se calcularon los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y de aptitud combinatoria específica (ACE), y se corrió una regresión lineal simple para medir el avance en la selección. Hubo diferencias significativas entre los cuatro ciclos de selección, para resistencia al tizón foliar y reducción de la altura de planta. Los promedios de C<sub>0</sub> contra C<sub>3</sub> a través de probadores, fueron menores en 7.4 a 11.1% para tizón foliar y de 10.5 a 13.9% para altura de planta. Para los promedios *per se* se obtuvo una diferencia de 29.8% para tizón foliar y 14.6% para

altura de planta. La incorporación en 1990 de 20 líneas resistentes a tizón foliar al compuesto balanceado del C<sub>2</sub> no modificó en forma clara la resistencia en el C<sub>3</sub>. En la estimación de ACG, el C<sub>3</sub> mostró los efectos más favorables. Hubo diferencias entre los efectos de ACE, pero la respuesta de los ciclos en las cruzas con los probadores estuvo más estrechamente relacionada con las características genéticas de los probadores *per se* y no con los tipos de germoplasma de los probadores. El probador susceptible ATx627 mostró los mejores ajustes al modelo de regresión lineal en los dos caracteres medidos tizón foliar y altura de planta. Los coeficientes de regresión reflejaron las siguientes ganancias por ciclo de selección: a) tizón foliar, -0.066 unidades de calificación para ciclos a través de probadores y -0.223 unidades de calificación para ciclos *per se*, y b) altura de planta, -7.8 cm para ciclos a través de probadores y -10.4 cm para ciclos *per se*.

## I. INTRODUCCION

A partir de 1960 la superficie de sorgo cultivada en México se fue incrementando hasta alcanzar en 1985 alrededor de 2.0 millones de hectáreas (ha), ubicándose en el tercer lugar en importancia después del maíz y el frijol; pero a partir de 1990 empezó a declinar hasta llegar en 1993 a aproximadamente 878 mil ha, y enseguida incrementarse a 1.25 millones en 1994. Esta misma declinación se reflejó en Jalisco, que ocupó entre el cuarto y quinto lugar nacional en superficie sembrada, ya que de aproximadamente 200 mil ha cultivadas en 1990 se redujo a escasas 22 mil en 1993, incrementándose a alrededor de 40 mil en 1994<sup>1</sup>.

Durante el período de 1975 a 1990 el sorgo fue uno de los principales cultivos en la Zona Centro de Jalisco, con una superficie sembrada de aproximadamente 150 mil hectáreas y un rendimiento promedio de 4-5 ton/ha, caracterizándose por ser una de las zonas con mayor productividad por unidad de superficie a nivel nacional. Del total de la superficie mencionada, aproximadamente el 75% se ubicó en la región Ciénega de Chapala.

La superficie sembrada con sorgo en la Ciénega de Chapala también fue declinando, de tal manera que de las 114,877 ha sembradas en el ciclo de primavera-verano 1990 se redujo a 71,442 en 1991, a 44,664 en 1992 y a escasas cinco mil en 1993. Esto como resultado de las políticas nacionales de liberación del precio al

---

<sup>1</sup>Fuente: Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR), 1995.



mercado internacional, que dejaron al sorgo como un cultivo con escaso margen de ganancia e inferior al del maíz, cultivo que fue reemplazando al sorgo en esta zona. Todavía existe incertidumbre del rumbo definitivo del cultivo de sorgo, pues se presentan signos de recuperación de su importancia en la región, entre ellos el incremento de la superficie sembrada en 1994 (11,749 ha), en 1995 (26,822 ha) y en 1996 (60,429 ha)<sup>2</sup>; esta tendencia creciente pudiera ser explicada en función del precio, ya que en 1995 y 1996 el sorgo se pagó a un precio promedio de \$1,050 por tonelada, muy cercano al del maíz que fue de \$1,300.

No obstante el buen nivel de producción de grano del sorgo en la zona mencionada, existen enfermedades que reducen considerablemente el rendimiento de grano cuando las condiciones ambientales han favorecido su desarrollo; situación que se agrava si se siembran híbridos susceptibles. Las enfermedades de mayor importancia económica son el tizón foliar *Exserohilum turcicum* (Leo y Sug.) y la pudrición del tallo *Fusarium moniliforme* (Sheldon), las cuales presentan mayor severidad en la región Ciénega de Chapala, donde una gran proporción de híbridos comerciales son susceptibles en menor o mayor grado a una o ambas enfermedades.

Considerando que su control químico no se recomienda por incosteable, la alternativa para enfrentar este problema es mediante el mejoramiento genético, a través de la formación de híbridos resistentes a estas enfermedades, lo cual involucra el mejoramiento de poblaciones y su posterior utilización en la

---

<sup>2</sup>Fuente: SAGAR-Distrito de Desarrollo Rural 06 La Barca, Jalisco, 1996.

derivación y evaluación de líneas progenitoras de híbridos. En 1989, el programa de mejoramiento genético de sorgo del Campo Experimental Centro de Jalisco, perteneciente al Centro de Investigaciones del Pacífico Centro (CIPAC) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), inició un proyecto de selección para mejorar la resistencia al tizón foliar *Exserohilum turcicum* (Leo y Sug.) y simultáneamente reducir la altura de planta de la población de sorgo TP-17, la cual presenta el carácter de androesterilidad bajo el sistema genético  $ms_3$ .

Los objetivos en este estudio fueron: evaluar cuatro ciclos de selección de la población TP-17 para tizón foliar *Exserohilum turcicum* (Leo y Sug.) y altura de planta; *per se* y en cruzas con probadores androestériles susceptibles, tolerantes y resistentes al tizón foliar, procedentes de diferentes fuentes germoplásmicas.

#### Hipótesis:

1) La población de sorgo TP-17 tiene variabilidad genética que puede ser aprovechable por selección para mejorar la resistencia al tizón foliar *Exserohilum turcicum* (Leo y Sug.) y reducir la altura de planta.

2) Los cambios en las frecuencias génicas por la selección en la población TP-17 modificarán la capacidad de combinación con diferentes probadores.

## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. Definición y formación de una población

Desde el punto de vista genético una población mendeliana puede considerarse como un grupo de individuos que se reproducen sexualmente, con un grado relativamente cercano de relación genética y que reside entre los límites de un área geográfica definida donde ocurre intercruzamiento (Stansfield, 1986).

Hardy y Weinberg, citados por Allard (1960) demostraron que en una población con apareamiento aleatorio se establecía un equilibrio entre las frecuencias de los alelos  $A$  y  $a$ , tendiendo a permanecer constantes de generación en generación, a no ser que hubiera alguna alteración debida a: 1) selección, 2) apareamiento no efectuado al azar, 3) migración diferencial o 4) mutación diferencial de  $A$  hacia  $a$  o de  $a$  hacia  $A$ .

En el estudio de la genética de poblaciones son de interés fundamental el conocimiento de la constitución genética de los individuos y la forma de transmisión de los genes de una generación a la siguiente (Falconer, 1983), es decir, trata de predecir las frecuencias de los genotipos y fenotipos aplicando los conceptos mendelianos a todos los apareamientos posibles de una población que se intercruza (Mettler y Gregg, 1972).

El desarrollo de poblaciones recombinantes involucra tres pasos básicos (Clará, 1981; Bhola Nath, 1982; Fehr, 1987):

- a) selección de progenitores adecuados,
- b) incorporación del gene de esterilidad masculina, y
- c) intercrucamiento y aleatorización entre los progenitores.

En sorgo, los genes recesivos *ms<sub>1</sub>* y *ms<sub>2</sub>*, son los que más se han usado para incorporar la esterilidad masculina; cualquiera de éstos puede retrocruzarse fácilmente hacia un buen número de líneas progenitoras (Miller, 1979; Bhola Nath, 1982; House, 1982).

En la Figura 1, se presenta el procedimiento para formar una población utilizando androesterilidad, se asume que la contribución genética del progenitor androestéril de alelos diferentes al *ms* será del 12.5%, la población se desarrollará en el menor número de estaciones posible y se conducirán tres generaciones de recombinación después de realizar la segunda retrocruza ( $BC_2F_1$ ), para obtener siempre la proporción 1*Ms* *ms*: 1*ms* *ms* de plantas fértiles y androestériles, respectivamente (Fehr, 1987).

## 2.2. Métodos para mejorar una población

Dado que hay un gran número de caracteres que requieren mejoramiento, generalmente no es posible mejorar más de un carácter mediante los métodos tradicionales, particularmente cuando son de índole poligénica tales como el rendimiento, ciertos factores de

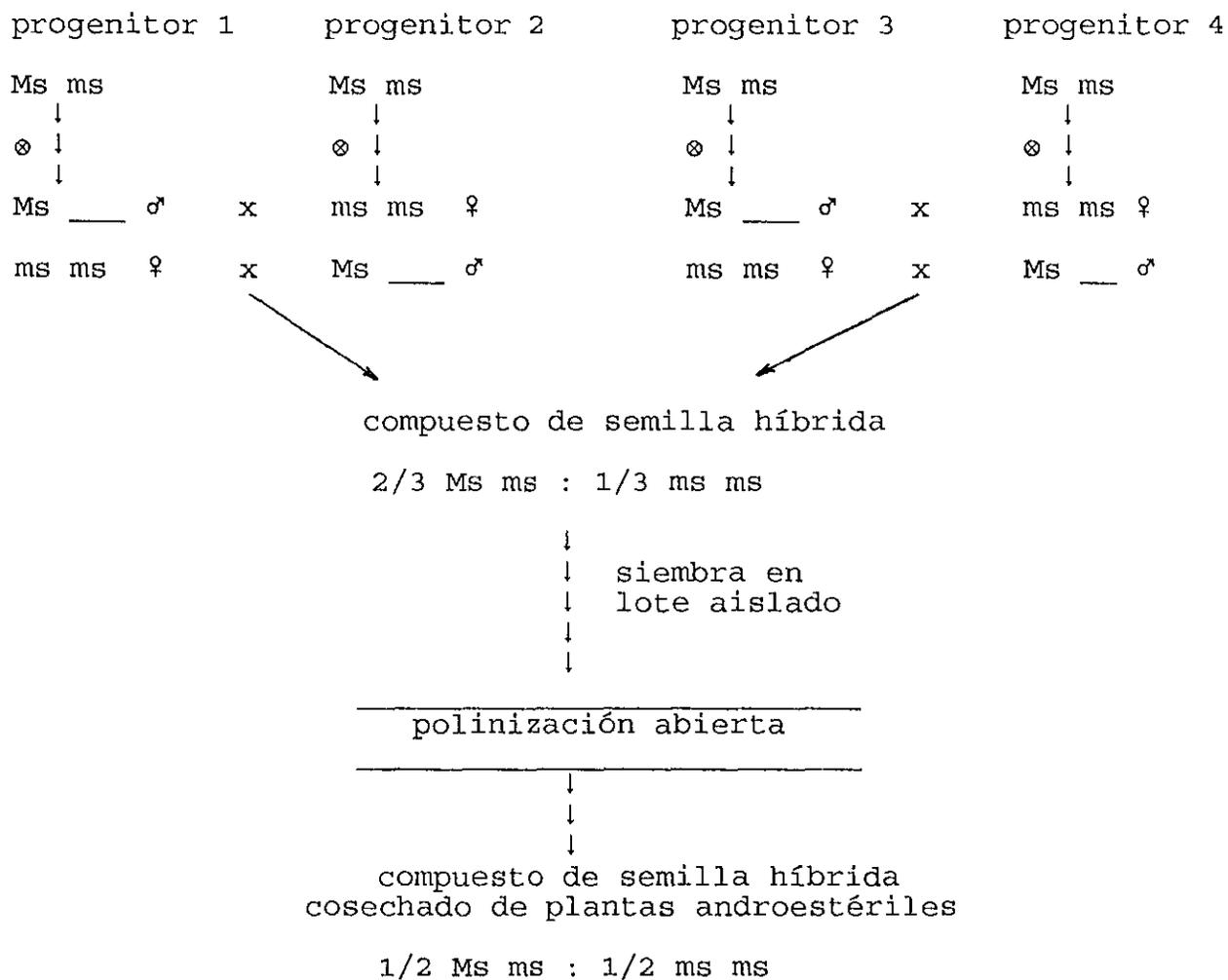


Figura 1. Procedimiento para formar una población con apareamiento aleatorio, segregando para esterilidad masculina, al usar cuatro progenitores heterocigotos para el alelo *ms*, Fehr (1987).

resistencia, calidad, etc. Por lo tanto, mediante el uso de selección recurrente en poblaciones, los genes que controlan estos caracteres son gradualmente concentrados de un ciclo a otro aumentando con ello las posibilidades de seleccionar plantas que posean varias de las combinaciones deseadas (Doggett, 1982).

El desarrollo y mejoramiento de poblaciones mediante selección recurrente representa un gran potencial para aprovechar la variabilidad genética, rompiendo a la vez grupos de ligamientos para aumentar ésta (Clará, 1981; Bhola Nath, 1982).

Bhola Nath (1982) y Fehr (1987) señalan que la selección recurrente va implícita en el mejoramiento de poblaciones, y que en un sentido amplio la selección recurrente es cualquier esquema cíclico de recombinación y selección en el cual hay un incremento progresivo de genotipos favorables. Los mismos autores consignan que los métodos de selección recurrente son más efectivos para el mejoramiento de caracteres que se heredan cuantitativamente y están diseñados para lograr dos metas: a) mejorar el comportamiento de la media de la población mediante el incremento de la frecuencia génica de los caracteres bajo selección y b) mantener la variabilidad genética mediante la recombinación de los genotipos superiores.

El uso efectivo de los métodos de mejoramiento poblacional en sorgo empezó con Orrin Webster en Estados Unidos en 1960 y estuvo asociado con el avance en el conocimiento de la teoría de la genética cuantitativa (Bhola Nath, 1982); como un resultado de ello, el mayor avance logrado en la década de los 70s fue el

mejoramiento poblacional a través de la selección recurrente (Doggett, 1982).

Los métodos de selección recurrente que se recomiendan para el caso de poblaciones de sorgo son: 1) selección individual (masal), 2) prueba de progenie en  $S_1$ , 3) prueba de progenie en  $S_2$ , y 4) prueba de progenie de medios hermanos; en todos los casos las plantas androestériles deben etiquetarse al tiempo de la polinización, puesto que no es posible diferenciarlas de las fértiles en la madurez, y con excepción del individual, todos estos métodos requieren evaluación de progenies (Bhola Nath, 1982; House, 1982; Fehr, 1987). Basado en una exhaustiva revisión de literatura sobre la respuesta de diferentes métodos de selección recurrente en varios cultivos, Hallauer (1981), citado por Bhola Nath (1982), concluyó que los efectos aditivos de los genes son predominantes en la mayoría de los cultivos y que todos los métodos de selección son prácticamente igual de efectivos para observar respuesta a la selección, y que por tanto, la elección del método de selección depende en gran medida de la heredabilidad del carácter bajo selección, la técnica experimental y los recursos disponibles para el mejorador, entre otros.

Secrist y Atkins (1991) compararon los métodos selección masal y prueba de progenie en  $S_1$  e indicaron que la efectividad debería medirse en relación a las ganancias por año y la disponibilidad de recursos; de tal forma que, sobre la base de una generación por año se considera que la selección masal es preferible porque la prueba de progenie en  $S_1$  requiere de tres generaciones por ciclo contra

una de la selección masal. En cambio, si es factible obtener más de una generación, las ganancias por año con la prueba de progenie en  $S_1$  deberían ser similares o superiores a las de selección masal.

Fehr (1987) indicó también que la eficiencia de un método de mejoramiento se puede evaluar en base a la ganancia realizada por año. El concepto de ganancia genética está basado en el cambio del comportamiento de la media que se realiza en cada ciclo de selección en una población. Cada ciclo incluye el establecimiento de la población segregante y desarrollo de genotipos para su evaluación, selección y utilización como progenitores de la nueva población para el siguiente ciclo de selección. Dado que el tiempo para completar cada ciclo puede variar considerablemente dependiendo del método que se use, la comparación de la ganancia genética se expresa sobre una base anual.

La ganancia genética por ciclo ( $G_c$ ) fue expresada por Lush (1945), citado por Fehr (1987), como:

$$G_c = h^2 D, \text{ en donde:}$$

$h^2$  = heredabilidad en sentido estricto

$D$  = diferencial de selección

Fehr (1987) agregó que la ganancia genética por año ( $G_y$ ) se puede calcular como lo sugirió Eberhart (1972), dividiendo la ganancia genética por ciclo entre el número de años requeridos para completar un ciclo de selección:  $G_y = G_c/y$ .

La heredabilidad ( $h^2$ ) se puede expresar en sentido amplio o en

sentido estricto. En sentido amplio se define como el cociente de la varianza genética sobre la varianza fenotípica, y en sentido estricto se define como el cociente de la varianza genética aditiva sobre la varianza fenotípica (Fehr, 1987), es decir

$$h^2 = \sigma^2_A / \sigma^2_{ph}, \text{ en donde:}$$

$\sigma^2_A$  = varianza genética aditiva

$\sigma^2_{ph}$  = varianza fenotípica

El diferencial de selección (D) es la diferencia entre la media de los genotipos seleccionados de una población y la media general de la población de la cual fueron seleccionados. Por ejemplo, si la media de los genotipos seleccionados es 2500 kg/ha y la media de la población es 2200 kg/ha, el diferencial de selección es de 300 kg/ha. El diferencial de selección puede expresarse como:

$$D = K\sigma_{ph}, \text{ en donde:}$$

K = diferencial de selección expresado en unidades estándar

$\sigma_{ph}$  = raíz cuadrada de la varianza fenotípica

por lo tanto, la ecuación de la ganancia genética por ciclo (Gc) puede modificarse sustituyendo a  $h^2$  y D (Fehr, 1987).

$$Gc = h^2 D = (\sigma^2_A / \sigma^2_{ph}) K\sigma_{ph} = K\sigma^2_A / \sigma_{ph}$$

### 2.2.1. Método de selección individual

La selección individual está basada en el fenotipo de la planta, de ahí que también se le conozca como selección fenotípica o selección masal (Fehr, 1987).

El método de selección individual es el más sencillo de todos los métodos, el que requiere de los menores recursos y solamente una generación por ciclo; es el que debería usarse durante los primeros ciclos de selección para lograr una uniformidad razonable en la altura de planta y madurez, antes de usar otros métodos de selección recurrente más sofisticados que requieren evaluación de familias (Bhola Nath, 1982); asimismo, se recomienda cuando predomina la varianza genética aditiva, los caracteres a seleccionar tengan alta heredabilidad, como la altura de planta y días a floración en sorgo, y la interacción genotipo-ambiente es baja (Matzinger *et al.*, 1977; House, 1982).

Aunque en la selección individual se realiza un ciclo por año y se aprovecha la mitad de la varianza genética aditiva entre individuos, ya que sólo hay control de un progenitor, los valores fenotípicos son tan afectados por el ambiente que la respuesta por ciclo es sumamente baja (Márquez, 1980).

El proceso de selección individual en autógamias fue descrito por Matzinger *et al.*, (1977) y Fehr (1987) de la siguiente forma: a) se siembra el ciclo cero ( $C_0$ ) en un lote aislado, b) antes de la floración se eliminan las plantas indeseables, c) durante la floración se etiquetan un número suficiente de

plantas andro-estériles, d) posteriormente se seleccionan las más sobresalientes (200 a 250) con las cuales se forma un compuesto balanceado; con ello se obtiene el primer ciclo de recombinación y selección ( $C_1$ ), y siguiendo el mismo procedimiento se obtienen los siguientes ciclos. Para el tamaño del lote se deben considerar la presión de selección, la segregación de plantas androestériles y el número de plantas a cosechar; por ejemplo, si la presión de selección es del 25%, la segregación de plantas androestériles es del 50% y se desea cosechar 200 plantas, el tamaño de la población inicial serían:  $200 / (0.25 \times 0.50) = 1600$  plantas.

Para agregar material sobresaliente a una población, sólo es necesario sembrarlo en surcos alternados a los de la población, permitir la polinización natural o realizar cruzamientos a mano con el material incorporado (Bhola Nath, 1982). Las Universidades estadounidenses de Texas A&M y Nebraska, el USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) y el ICRISAT (Instituto Internacional para la Investigación de los Trópicos Semi-Aridos) son algunas de las principales instituciones que han desarrollado investigación con poblaciones de sorgo.

### 2.3. Tipos de esterilidad masculina

En el mejoramiento genético del sorgo existen dos tipos de esterilidad masculina que se pueden utilizar para formar o derivar líneas progenitoras (A, B y R) para la producción de híbridos (Phoelman, 1981): 1) la esterilidad genética masculina, descubierta

en 1943 y 2) la esterilidad genética-citoplásmica masculina, descubierta en 1950, y que es la que actualmente se usa en la producción comercial de híbridos. En ambos casos se requiere del uso de la línea A, la cual tiene incorporada la esterilidad masculina; sin embargo, en el caso de la esterilidad genética masculina la línea A segrega 50% de plantas fértiles, mismas que deben eliminarse, razón por la cual no se usa en la producción de semilla híbrida, pues ésta resultaría muy cara. La línea B es mantenedora de su isogénica A y no le restaura la fertilidad, la línea R es restauradora de la fertilidad y es la que se cruza con la línea A para formar el híbrido.

La esterilidad genética masculina que se ha encontrado en varias especies está controlada por un par de genes homocigóticos recesivos ( $ms\ ms$ ) que se mantienen polinizándose con los genes heterocigóticos ( $Ms\ ms$ ), los cuales tienen polen normal (Clará, 1981):

$$ms_3\ ms_3 \times Ms_3\ ms_3$$

$$1\ Ms_3\ ms_3 : 1\ ms_3\ ms_3$$

androfértil    androestéril

La esterilidad genética masculina recobró importancia a partir de la década de los setentas, cuando empezó a utilizarse en la formación de poblaciones recombinantes. El mejoramiento en este tipo de poblaciones está diseñado para utilizar los efectos de los genes aditivos; es decir, acumular genes favorables, romper los ligamientos y con ello generar variabilidad genética, la cual se

mantiene en bancos germoplásmicos a los que se puede recurrir cuando eventualmente surja un problema de una plaga o enfermedad. Por ejemplo, la resistencia podría extraerse e incorporarse rápidamente mediante un proceso de retrocruza o por el método genealógico para corregir la deficiencia en las líneas progenitoras, o bien, para derivar líneas B y R para la formación de nuevos híbridos (Miller, 1979).

#### 2.4. Aptitud combinatoria

El concepto de aptitud combinatoria es especialmente útil en procedimientos de prueba en los cuales se desea estudiar y comparar el comportamiento de líneas en combinación híbrida (Griffing, 1956). Los términos de aptitud combinatoria general y específica fueron inicialmente definidos por Sprague y Tatum (1942) quienes indicaron que la aptitud combinatoria general (ACG) se usa para designar el comportamiento promedio de una línea en combinaciones híbridas, y la aptitud combinatoria específica (ACE) se usa para designar aquellos casos en los cuales ciertas combinaciones resultan relativamente mejor o peor a lo que se esperaría sobre la base del comportamiento promedio de las líneas involucradas. Agregaron que cuando las estimaciones de la ACE ( $\sigma^2_s$ ) son mayores que las de ACG ( $\sigma^2_g$ ) se debe a que los efectos epistáticos y de dominancia son mucho más importantes que los efectos génicos aditivos.

Hookstra *et al.* (1983) mencionaron que la selección de un

probador apropiado para aptitud combinatoria ha sido extensamente estudiado en maíz. Por otra parte, se han reportado resultados contrastantes al utilizar probadores de amplia o estrecha base genética en la evaluación de la ACG en líneas avanzadas. Los probadores en sorgo no se han explorado ampliamente, a excepción del dialelo de apareamiento específico diseñado para estimar aptitudes combinatorias. Al citar varios trabajos, indicaron que Ross y Kofoid (1978) evaluaron por primera vez en sorgo cruzas de líneas A x poblaciones recombinantes y en sus resultados encontraron diferencias muy claras para rendimiento de grano en la aptitud combinatoria de líneas A. También señalaron que Mohamed (1980) comparó diferentes probadores masculinos (líneas R, híbridos  $F_1$  y poblaciones) para la aptitud combinatoria de líneas A y encontró que las poblaciones fueron tan buenas como los otros dos probadores. Finalmente, mencionan que cuando existen interacciones en línea A x población se obtiene información para mejoramiento de la ACG y ACE; esta última se refiere al comportamiento relativo de una craza cuando se compara con las medias generales de los progenitores, por lo que es útil en la identificación de materiales que combinan bien en combinaciones específicas.

#### 2.5. Utilización de poblaciones de sorgo

Flores (1984) consigna que al aplicar selección masal en dos poblaciones de sorgo se obtuvo un incremento de 16.84% de proteína

y 27.37% de aceite en el ciclo uno ( $C_1$ ), con respecto a la población original NP20BR(MEC1) de donde se derivaron ambas poblaciones; aunque ello condujo a una reducción del rendimiento en ambas poblaciones.

Por su parte Dogget (1972) señaló que al practicar selección masal en varias poblaciones de sorgo, se incrementó en 7% el rendimiento de grano en ocho de ellas, después del tercer ciclo de selección.

En relación con la selección masal Bhola Nath (1982) cita los siguientes trabajos en sorgo: 1) Doggett (1972) refiere un 20% de incremento en rendimiento de grano después de tres ciclos de selección y 2) Obliana y El-Rouby (1980) reportaron un incremento de 34.4 y 40.4% en rendimiento de grano en dos poblaciones al completar tres ciclos de selección.

Kwolet *et al.* (1986), mencionan haber evaluado familias  $S_1$  seleccionadas al azar de los ciclos cero y cuarto de selección masal de la población recombinante de sorgo IAP3BR(M) y encontraron que los estimadores de la varianza genotípica entre familias fueron significativamente más altos en  $C_4$  que en  $C_0$  en rendimiento de grano/ha, número de panojas por planta y días a floración, pero no para peso de 100 granos. Los estimadores de heredabilidad difirieron muy poco entre el  $C_0$  y  $C_4$ , correspondiendo los más altos al peso de 100 granos. Concluyeron que la selección masal fue efectiva al incrementar el tamaño de grano, aunque la población se vio afectada por cambios indeseables en otros caracteres. En un trabajo similar con la población de sorgo IAP2B(M) Maves y Atkins

(1991) encontraron que la selección para peso de panoja elevó la media de rendimiento de grano y se aumentó el promedio entre familias. Asimismo, se incrementaron los valores del  $C_4$  en semillas por panoja, peso de 100 semillas, días a floración y altura de planta, pero disminuyó el número de panojas por planta. La varianza genotípica entre familias  $S_1$  se incrementó del  $C_0$  al  $C_4$  en rendimiento de grano y días a floración. Esto mismo ocurrió con los estimadores de heredabilidad en rendimiento de grano.

Las líneas derivadas de las poblaciones se obtienen por sucesivas autofecundaciones de plantas androfértiles hasta lograr uniformidad en la progenie. La continua selección de plantas androfértiles elimina la esterilidad de las líneas. Las líneas uniformes pueden usarse como variedades, progenitores de híbridos o progenitores en cruzamientos para su uso posterior en métodos de mejoramiento tradicionales. Algunas líneas retienen la esterilidad masculina hasta las generaciones  $S_4$  y  $S_5$ . Si se requiere, la esterilidad puede mantenerse mediante cruza entre hermanos; estas líneas son convenientes para usarse en programas de mejoramiento tradicionales en donde se desea evitar las emasculaciones a mano.

En lo que se refiere a la derivación de líneas a partir de poblaciones, Otte *et al.* (1984) acentaron que, al comparar los híbridos formados con líneas R seleccionadas de la población NP3R, éstos fueron significativamente superiores a los híbridos formados con las líneas que se utilizaron inicialmente para formar dicha población.

## 2.6. Mejoramiento para resistencia a enfermedades en sorgo

La vulnerabilidad genética es equiparable a la uniformidad genética, y representa un gran riesgo cuando la gran mayoría de las variedades comerciales se desarrollan de progenitores emparentados o se usa el mismo sistema de esterilidad génico-citoplásmica. El grado de vulnerabilidad puede clasificarse en base al conocimiento genético de la interacción huésped-parásito y en el pasado histórico de la enfermedad; consecuentemente también se puede estimar la estabilidad de la resistencia (Frederiksen, 1986).

El avance en el mejoramiento para resistencia a enfermedades depende de varios factores (House, 1982):

- a) Forma de herencia y procedimientos de mejoramiento.
- b) Facilidad de identificación del carácter para el que se hace selección.
- c) Intensidad de la presión de selección, y
- d) Factores ambientales.

### 2.6.1. Tizón de la hoja *Exserohilum turcicum* (Leo y Sug.)

El tizón foliar está diseminado en muchas áreas húmedas del mundo en donde se cultiva sorgo. Su desarrollo se ve favorecido por temperaturas moderadas (18-27°C) y abundante rocío durante el crecimiento de la planta. Si la enfermedad se establece sobre variedades susceptibles antes de la emergencia de la panícula, las pérdidas de grano pueden alcanzar hasta el 50%. Esta enfermedad

puede también predisponer las plantas a pudriciones del tallo causadas por otros patógenos. De ahí que, el uso de híbridos resistentes es lo más indicado para regiones donde el tizón foliar representa un problema (Frederiksen, 1986).

Los síntomas típicos del tizón foliar son lesiones necróticas, elípticas y largas (hasta de 12 mm de ancho y 2.5 a 15 cm de largo) de color café claro o púrpura en el centro y con márgenes oscuros, aunque el color del margen depende de la variedad hospedera (Williams *et al.*, 1978). Su desarrollo inicia en las hojas inferiores y continúa progresivamente hacia las superiores; cuando la esporulación del hongo es muy copiosa hace que las superficies necrosadas se observen de color grisáceo a negro. Aunque el grano no es infectado, el efecto de esta enfermedad puede reducir el peso de grano (Frederiksen, 1986).

Se ha establecido que el grado de vulnerabilidad genética puede clasificarse en bajo, intermedio y alto; estos rangos están basados, en parte, en el conocimiento genético de la interacción huésped-patógeno y en algunos casos en el pasado histórico de la enfermedad. Al respecto, el tizón foliar está ubicado dentro del rango de baja vulnerabilidad (Frederiksen y Rosenow, 1979).

En relación con el mejoramiento para resistencia al tizón foliar, se ha mencionado que la naturaleza de la herencia es dominante, esto significa que cuando menos uno de los progenitores debe ser resistente a la enfermedad (Frederiksen y Rosenow, 1979). Asimismo, se han identificado dos tipos de resistencia: 1) la poligénica, que se caracteriza por presentar unas cuantas pequeñas



lesiones y 2) la monogénica, caracterizada por un pequeño listado hipersensible o no desarrollo de lesión (Frederiksen, 1986).

En maíz, la herencia de la resistencia a tizón foliar *Exserohilum turcicum* se ha descrito de dos maneras: 1) resistencia monogénica, que se expresa como lesiones cloróticas muy pequeñas, pero con escaso o sin tejido necrótico (Sigulas *et al.*, 1988; Brewster *et al.*, 1992). La resistencia a una raza específica usualmente está controlada por genes simples dominantes (Leath *et al.*, 1990) y 2) resistencia poligénica, debida a una especialización fisiológica en *E. turcicum* y la subsecuente virulencia (Sigulas *et al.*, 1988). Este tipo de resistencia es parcial y se expresa como pequeñas lesiones, pero el grado de expresión puede variar dependiendo del contenido genético de una línea en particular (Brewster *et al.*, 1992).

## 2.7. Genética de la altura de planta

La altura de planta es un carácter que debe considerarse en áreas donde la cosecha es mecanizada. Se ha señalado que existe una correlación positiva entre altura y rendimiento de grano, determinándose que los máximos rendimientos generalmente se logran con genotipos que miden entre 1.50 y 1.75 m (Miller, 1979).

Se han identificado cuatro genes que controlan la altura de planta, los cuales son designados con los símbolos  $Dw_1$ ,  $Dw_2$ ,  $Dw_3$  y  $Dw_4$ . El carácter planta alta es parcialmente dominante al de planta baja, es decir, el efecto de los alelos recesivos en cualquiera de

los cuatro loci en la reducción de la altura es de naturaleza braquítica, modificando la longitud del entrenudo, pero no la del pedúnculo (House, 1982; Phoelman, 1981). Un simple gen recesivo podría reducir la altura en 50 centímetros o más (Miller, 1979).

Por otra parte, existe variación en la altura de diferentes variedades con el mismo genotipo. Se cree que esto se debe a series alélicas en varios loci y no a factores modificadores en otros loci. Existe inestabilidad en los loci  $Dw_3$  y  $Dw_4$ , por ejemplo, el alelo  $dw_3$  muta hacia el alelo dominante en una proporción alta, por ello una parcela puede mostrar una apariencia desuniforme debido a una gran proporción de plantas altas (House, 1982).

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Descripción del área de estudio

El trabajo de selección en campo se llevó a cabo en El Fuerte, municipio de Ocotlán, Jalisco, con tipo de clima (A)C(w<sub>0</sub>)(w)a(e)g, que se caracteriza por tener una temperatura media anual 21.7°C, precipitación media anual 818.8 mm, altitud 1527 metros y latitud 20°15' (García, 1973). El tipo de suelo fue arcilloso.

#### 3.2. Material genético utilizado

Se utilizó la población recombinante de sorgo GPTM3BR(H)C4, también denominada como TP-17, solicitada a la Universidad de Texas A&M por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

#### 3.3. Origen y desarrollo de la población TP-17

Duncan *et al.* (1987) indicaron que la población recombinante de sorgo TP-17 fue liberada en abril del mismo año por las Estaciones Agrícolas Experimentales de las Universidades de Georgia y Texas A&M; por la Estación de Agricultura Tropical del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas-Centro de Investigaciones Agrícolas de El Bajío, México (INIA-CIAB). El

desarrollo de esta población se inició en 1982 al cruzar 24 líneas B y R (Cuadro 1) con panojas androestériles ( $ms_3$ ) cubiertas con bolsas, de la población experimental de Texas A&M (TP-24).

#### 3.4. Características de la población TP-17

La población de sorgo TP-17 es altamente variable para muchas características de planta y semilla porque involucró selección en cuatro ambientes diversos, en los que se enfocó una presión de selección hacia diferentes especies de *Fusarium*, y una variabilidad genética que incluyó diferentes genotipos como progenitores (Duncan *et al.*, 1987). Estos autores señalaron que la población TP-17 podría ser una fuente de selección útil para tipos agronómicos de planta con resistencia a enfermedades foliares, tizón de la panoja, pudrición de tallo y mohos del grano.

En base a lo anterior se decidió traer a Ocotlán, que es donde se lleva a cabo el mejoramiento de sorgo del Campo Experimental Centro de Jalisco, dicha población, con el propósito de derivar líneas B y R sobresalientes para su utilización en la formación de híbridos resistentes a tizón foliar, tizón de la panoja, pudrición de tallo y con potencial de rendimiento de grano.

#### 3.5. Adaptación de la población TP-17 en Ocotlán

T-17 se sembró durante el ciclo primavera-verano de 1989, bajo condiciones de temporal; durante su desarrollo mostró cierta

Cuadro 1. Líneas usadas como fuente de resistencia a *Fusarium* sp en la formación de la población original GPTM3BR(H)C4.

Entrada	Genealogía	Pedigree/derivación	Reacción B o R+
1	R3224	(TAM428 x GbTx7000) derivado	R
2	SC325-12E	IS2462 derivado	B?
3	CV255	(Kafir x SC599-6) derivado	B?
4	SC599-11E	IS 17459 Río derivado	R
5	R9188	SC599-6	R
6	5375-79	SC599 derivado	B
7	3501-05	SC599 derivado	B
8	71SLT113-8	SC599-6 selección	R
9	5113	SC599 derivado	B
10	B1887	(SC599 X SC134) derivado	B
11	Sup 353	(SC599 X SC110)	R
12	SC35-6	IS12555 derivado	B
13	SC35-14	IS12555 derivado	R
14	SC630-11E	IS1269 derivado	B
15	SC650-11E	IS2856 derivado	B
16	SC650-8-1	IS2856 derivado	B
17	IS9530	IS9530	B
18	B2219	--	B
19	R9247	SC599-6 derivado	R
20	TP9R02-16	--	R?
21	CV323-7-4	(Kafir x SC599-6) derivado	B
22	GPR-148	CSV-5	R
23	TP1-179	--	R?
24	BSC599-6	IS 17459 derivado	B

+ Reacción a citoplasma A1, B= mantenedor androestéril,  
R= restaurador androfértil.

susceptibilidad al tizón foliar y una cantidad apreciable de plantas mostraron porte alto llegando a medir hasta 3.5 metros. Debido a los caracteres indeseables mostrados no fue posible utilizarla directamente por lo que fue necesario mejorar la población para los caracteres señalados mediante selección recurrente, para su posterior utilización en la derivación de líneas B y R.

### 3.6. Método de selección

El método de selección individual descrito por Matzinger y Cockerham (1977) se consideró como el más indicado para llevar a cabo un proceso de mejoramiento de la población TP-17, tomando en cuenta la heredabilidad de los caracteres a mejorar y los limitados recursos disponibles, pues este método es el más sencillo, más barato y sólo requiere una generación por ciclo.

### 3.7. Obtención de los ciclos de selección y recombinación

En 1989 se sembró el ciclo cero ( $C_0$ ) de la población TP-17, en el cual se realizó selección individual para resistencia a tizón foliar y porte bajo de planta bajo condiciones naturales de campo, obteniéndose así el primer ciclo ( $C_1$ ); siguiendo el mismo procedimiento en los años 1990 y 1991 se obtuvieron el segundo ciclo ( $C_2$ ) y el tercer ciclo de selección ( $C_3$ ), respectivamente.

### 3.8. Criterios de selección

La selección se enfocó fundamentalmente hacia las plantas que mostraron tolerancia o resistencia al tizón foliar y porte de planta no mayor a 1.80 metros, procurando que las plantas seleccionadas tuvieran además las mejores características agronómicas posibles. Este proceso se hizo de una manera moderada y paulatina a través de los ciclos de selección, con la finalidad de evitar ser drásticos y correr el riesgo de eliminar material valioso para otras características de importancia agronómica.

### 3.9. Presión de selección

La población TP-17 se sembró cada año en un lote aislado con una superficie que varió entre 150 y 200 m<sup>2</sup>, teniéndose aproximadamente de 4 a 6 mil plantas por lote, de éstas el 50% eran fértiles y el otro 50% andro-estériles. En cada ciclo de selección se etiquetaron alrededor de 600 plantas andro-estériles de las cuales se seleccionaron aproximadamente 200 para formar el compuesto balanceado, lo cual representó una presión de selección aproximada de 7 a 10% en cada ciclo.

### 3.10. Formación de los compuestos balanceados

En cada ciclo de selección las plantas androestériles seleccionadas y cosechadas se desgranaron por separado y de cada

una se utilizaron 50 semillas para formar un compuesto balanceado, siguiendo el mismo procedimiento se formaron otros dos compuestos balanceados para contar con semilla remanente; de esta manera se logró tener una muestra equilibrada de todos los individuos seleccionados.

### 3.11. Incorporación de material genético a la población TP-17

Tomando en cuenta la susceptibilidad a tizón foliar mostrada por la TP-17, se consideró conveniente introducir material genético del programa local en Ocotlán, resistente a dicha enfermedad. En 1990 se incorporaron 20 líneas (Cuadro 2), cada una con 50 granos de semilla, lo que representó el 10% del compuesto balanceado correspondiente al ciclo dos ( $C_2$ ).

### 3.12. Formación de las cruzas (híbridos) para la evaluación de los ciclos de selección

En 1992 se cruzaron cada uno de los ciclos ( $C_0$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$ ) con cinco líneas A (probadores) con androesterilidad genética-citoplásmica de cuatro fuentes germoplásmicas (Cuadros 3 y 4). Las líneas A utilizadas están caracterizadas por mostrar una respuesta diferente al desarrollo de tizón foliar (Cuadro 4).

Cada uno de los cuatro ciclos se sembró en un lote aislado de 12 surcos de 20 metros de largo y en el centro de cada ciclo se dejó un espacio libre para sembrar cada una de los probadores en un surco de cinco metros de largo, de tal forma que fueran polinizadas

Cuadro 2. Líneas del programa de Ocotlán incorporadas a la población TP-17, como fuente de resistencia a *Exserohilum turcicum* para su recombinación en 1991.

Entrada	Genealogía
1	TAM428 x RIO
2	(77CS-2 x SC103HW) x RTx430
3	IS-2028 x (78CS5024-2 x CS3541 sel.)
4	229bk x 3-352
5	3-252 x 81T269
6	(RTx430 x 77CS2) x SCO326-6)
7	(RTx430 x SCO326-6) sel.
8	LOC-102 R
9	LOC-302 R
10	TAM428 x R6956
11	77CS-2 x SCO326-6
12	(LRB-5 x TAM428) x (3E-315 x SCO326-6)
13	(3E-315 x SCO326-6) sel.
14	(LRB-90B x BTx623) sel.
15	(80B331-1 x RTx430) sel.
16	(SCO326-6 x LRB-19) sel.
17	(76CS490 x SCO326-6) sel.
18	(80B331-1 x RTx430) sel.
19	(SCO56-14 x RIO) sel.
20	LOC-304 R

Cuadro 3. Origen de los ciclos derivados de la población TP-17 y sus cruzas con cinco probadores.

Entrada	Material genético	Origen
1	C <sub>0</sub>	Texas A&M
2	C <sub>1</sub>	Oco 89T
3	C <sub>2</sub>	Oco 90T
4	C <sub>3</sub>	Oco 91T
5	C <sub>0</sub> xE13A	Oco 92T
6	C <sub>0</sub> xB140A	"
7	C <sub>0</sub> xATX623	"
8	C <sub>0</sub> xR5A	"
9	C <sub>0</sub> xATX627	"
10	C <sub>1</sub> xE13A	"
11	C <sub>1</sub> xB140A	"
12	C <sub>1</sub> xATX623	"
13	C <sub>1</sub> xR5A	"
14	C <sub>1</sub> xATX627	"
15	C <sub>2</sub> xE13A	"
16	C <sub>2</sub> xB140A	"
17	C <sub>2</sub> xATX623	"
18	C <sub>2</sub> xR5A	"
19	C <sub>2</sub> xATX627	"
20	C <sub>3</sub> xE13A	"
21	C <sub>3</sub> xB140A	"
22	C <sub>3</sub> xATX623	"
23	C <sub>3</sub> xR5A	"
24	C <sub>3</sub> xATX627	"
25	E13A	Oco 91T L.A
26	B140A	Oco 89T 436x437
27	ATX623	Oco 89T 416x417
28	R5A	Oco 90T 710x711
29	ATX627	Oco 86T 841x842

Oco= Ocotlán

T= Temporal

L.A= Lote aislado

Cuadro 4. Clasificación de cinco líneas utilizadas como probadores en función de la respuesta al tizón foliar y al tipo de germoplasma al que pertenecen.

No.	Probador	Respuesta al tizón foliar	Tipo de* germoplasma
1	E 13 A	resistente	Martin x Short Kaura
2	B 140 A	tolerante	Combine kafir 60 (Derivado)
3	ATx 623	tolerante	Zerazera
4	R 5 A	susceptible	Redlan (Derivado)
5	ATx 627	susceptible	Zerazera

+ Comunicación personal de M.C. Gabriel Vega Zaragoza, investigador del Programa de sorgo del Campo Experimental Bajío, CIRCE-INIFAP.

aleatoriamente por las plantas fértiles. Se obtuvieron así cinco cruzas por cada ciclo, en total, 20 cruzas de los cuatro ciclos. De cada probador cosechado por separado, se cortaron aproximadamente 10 panojas las cuales se trillaron manualmente y la mezcla de semilla resultante se usó para la evaluación de los ciclos de selección. Debido a daño de pájaros, la cantidad de semilla cosechada del probador E13A x C<sub>3</sub> fue muy limitada.

### 3.13. Evaluación de los ciclos de selección

#### 3.13.1. Diseño experimental

La evaluación de los ciclos de selección se llevó a cabo en 1993 y 1994 en El Fuerte, municipio de Ocotlán, Jalisco. En 1993 se evaluaron las 20 cruzas, los cuatro ciclos y se incluyeron tres

testigos comerciales; en 1994 se evaluaron las 20 cruzas, los cuatro ciclos y los cinco probadores (líneas A). En ambos casos se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar, cuatro repeticiones; asimismo, los probadores y los testigos, que son de porte bajo, se aleatorizaron como un grupo con el propósito de evitar que fueran sombreados por las cruzas y los ciclos, todos ellos de porte alto.

### 3.13.2. Tamaño de parcelas experimental y útil

La parcela experimental consistió de cuatro surcos de cinco metros de largo separados a 60 cm, a excepción de la cruz E13A x C<sub>3</sub>, que por la escasa disponibilidad de semilla se sembró sólo en un surco. Como parcela útil se tomaron los dos surcos centrales.

### 3.14. Toma de datos en campo

Los datos tomados en cada parcela fueron:

a) Días al 50% de floración. Se consideró como el período desde la primera lluvia después de la siembra hasta que, aproximadamente, el 50% de las plantas tenía media panoja en floración.

b) Desarrollo de tizón foliar. Se calificó utilizando una escala de 1 a 5, donde 1 fue para los genotipos resistentes y 5 para los más susceptibles; los datos de esta enfermedad se tomaron

15 días después de la floración, aproximadamente.

c) Altura de planta. Se midió desde la base de la planta hasta la punta de la panoja. Los ciclos de selección y las cruizas mostraron una gran variación en la altura de planta. Se realizó un muestreo para estimar el tamaño de muestra, considerando cada parcela como una población infinita, mediante la fórmula:

$$n = S^2 Z^2 / (d)^2, \text{ donde:}$$

$n$  = tamaño de la muestra,

$S^2$  = varianza,

$Z^2$  = confiabilidad y

$d^2$  = precisión

Con esta fórmula, el tamaño de muestra osciló de 35 a 45 plantas. En base a esto, se decidió tomar la altura en 50 plantas de cada parcela. En las cinco líneas A sólo se tomó la altura de cinco plantas elegidas en forma aleatoria, porque su altura fue muy uniforme.

d) Desarrollo de roya *Puccinia purpurea* (Cooke). Se siguió el mismo criterio que para tizón foliar.

e) Pudrición de tallo. Se contó el por ciento de plantas secas o próximas a secarse, esto se hizo alrededor de 15 días antes de la madurez fisiológica del grano.

f) Rendimiento de grano. Se obtuvo de los dos surcos centrales (6m<sup>2</sup>); se ajustó al 12% de humedad y se transformó a kg/ha.

## 3.15. Análisis de los datos

## 3.15.1. Análisis estadístico

Los datos de los dos años se analizaron en forma individual y combinada. Se utilizó el diseño genético factorial de Comstock y Robinson (1952) descrito por Wricke y Weber (1986), donde únicamente se incluyen las cruzas correspondientes a los mestizos, y permite descomponer los efectos debidos a ciclos, probadores, ambientes y las interacciones.

El modelo estadístico para cada año fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \Gamma_k + \epsilon_{ijk}$$

en donde:

$i = 1, 2, \dots$  c ciclos

$j = 1, 2, \dots$  p probadores

$k = 1, 2, \dots$  r repeticiones

$Y_{ijk}$  = la observación correspondiente al  $i$ -ésimo ciclo con el  $j$ -ésimo probador en la  $k$ -ésima repetición

$\mu$  = media general

$\alpha_i$  = efecto del  $i$ -ésimo ciclo

$\beta_j$  = efecto del  $j$ -ésimo probador

$(\alpha\beta)_{ij}$  = efecto de la interacción del  $i$ -ésimo ciclo con el  $j$ -ésimo probador

$\Gamma_k$  = efecto de la  $k$ -ésima repetición

$\epsilon_{ijk}$  = efecto aleatorio asociado a la  $(ijk)$ -ésima observación

El análisis se efectuó bajo los siguientes supuestos:

$$\alpha_i \text{ DNI } (0, \sigma^2_\alpha)$$

$$\beta_j \text{ DNI } (0, \sigma^2_\beta)$$

$$(\alpha\beta)_{ij} \text{ DNI } (0, \sigma^2_{\alpha\beta})$$

$$\epsilon_{ijk} \text{ DNI } (0, \sigma^2)$$

El formato para el análisis de varianza por año se muestra en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Fuentes de variación (FV), grados de libertad (GL) y esperanzas de cuadrados medios (ECM) para el análisis de varianza individual (por año).

F V	G L	E C M Modelo II (efectos fijos)
Repeticiones (R)	$(r-1) = 3$	$\sigma^2 e + cp\theta^2 R$
Ciclos (C)	$(c-1) = 3$	$\sigma^2 e + rp\theta^2 C$
Probadores (P)	$(p-1) = 4$	$\sigma^2 e + rc\theta^2 P$
C x P	$(c-1)(p-1) = 12$	$\sigma^2 e + r\theta^2 CP$
Error	$(cp-1)(r-1) = 57$	$\sigma^2 e$
Total	$(rcp-1) = 79$	

Las pruebas de F pertinentes se realizaron al 5 y al 1% de probabilidad.

El modelo estadístico para el análisis combinado fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + A_k + (\alpha A)_{ik} + (\beta A)_{jk} + (\alpha\beta A)_{ijk} \\ + R_{1(k)} + \epsilon_{ijkl}$$

en donde:

$$i = 1, 2, \dots, c \text{ ciclos}$$

$$j = 1, 2, \dots, p \text{ probadores}$$

$k = 1, 2, \dots$  a ambientes

$l = 1, 2, \dots$  r repeticiones

$Y_{ijkl}$  = la observación de la cruza del  $i$ -ésimo ciclo por el  $j$ -ésimo probador en el  $k$ -ésimo ambiente a través de la  $l$ -ésima repetición

$\mu$  = media general

$\alpha_i$  = efecto del  $i$ -ésimo ciclo

$\beta_j$  = efecto del  $j$ -ésimo probador

$(\alpha\beta)_{ij}$  = efecto de la interacción del  $i$ -ésimo ciclo con el  $j$ -ésimo probador

$A_k$  = efecto del  $k$ -ésimo ambiente

$(\alpha A)_{ik}$  = efecto de la interacción del  $i$ -ésimo ciclo en el  $k$ -ésimo ambiente

$(\beta A)_{jk}$  = efecto de la interacción del  $j$ -ésimo probador en el  $k$ -ésimo ambiente

$(\alpha\beta A)_{ijk}$  = efecto de la interacción del  $i$ -ésimo ciclo con el  $j$ -ésimo probador en el  $k$ -ésimo ambiente

$R_{l(k)}$  = efecto de la  $l$ -ésima repetición dentro del  $k$ -ésimo ambiente

$\epsilon_{ijkl}$  = efecto aleatorio asociado a la  $(ijkl)$ -ésima observación

El análisis se efectuó bajo los siguientes supuestos:

$$\alpha_i \text{ DNI } (0, \sigma^2_\alpha)$$

$$\beta_j \text{ DNI } (0, \sigma^2_\beta)$$

$$(\alpha\beta)_{ij} \text{ DNI } (0, \sigma^2_{\alpha\beta})$$

$$A_k \text{ DNI } (0, \sigma^2_A)$$

$$\begin{aligned}
 (\alpha)_{ik} & \text{ DNI } (0, \sigma^2_{\alpha A}) \\
 (\beta)_{jk} & \text{ DNI } (0, \sigma^2_{\beta A}) \\
 (\alpha\beta)_{ijk} & \text{ DNI } (0, \sigma^2_{\alpha\beta A}) \\
 \epsilon_{ijk1} & \text{ DNI } (0, \sigma^2)
 \end{aligned}$$

El formato para el análisis combinado de ambos años se presenta en el Cuadro 6.

Las pruebas de F pertinentes se realizaron al 5 y al 1% de probabilidad.

Cuadro 6. Fuentes de variación (FV), grados de libertad (GL) y esperanzas de cuadrados medios (ECM) para el análisis de varianza combinado (1993-94) de la evaluación ciclos x probadores.

F V	G L	E C M Modelo II (efectos fijos)
Ambientes (A)	$(l-1) = 1$	$\sigma^2 e + rcp\theta^2 A$
Repeticiones/A	$r(l-1) = 6$	$\sigma^2 e + cp\theta^2 R/A$
Ciclos (C)	$(c-1) = 3$	$\sigma^2 e + lrp\theta^2 C$
A x C	$(l-1)(c-1) = 3$	$\sigma^2 e + rp\theta^2 AC$
Probadores (P)	$(p-1) = 4$	$\sigma^2 e + lrc\theta^2 P$
A x P	$(l-1)(p-1) = 4$	$\sigma^2 e + rc\theta^2 AP$
C x P	$(c-1)(p-1) = 12$	$\sigma^2 e + lr\theta^2 CP$
A x C x P	$(l-1)(c-1)(p-1) = 12$	$\sigma^2 e + r\theta^2 ACP$
Error	por diferencia = 114	$\sigma^2 e$
Total	$(lrpc-1) = 159$	

## 3.15.2. Cálculos de aptitud combinatoria

Los valores estimados de los efectos para la aptitud combinatoria general (ACG) y la específica (ACE) se obtuvieron utilizando el mismo procedimiento que Hookstra *et al.* (1983), de la siguiente forma:

$$\text{ACG (ciclos)} = \bar{X}_{i.} - \bar{X}_{..} ,$$

$$\text{ACG (probadores)} = \bar{X}_{.j} - \bar{X}_{..} \text{ y}$$

$$\text{ACE (mestizos)} = \bar{X}_{ij} - \bar{X}_{i.} - \bar{X}_{.j} + \bar{X}_{..}$$

en donde:

$\bar{X}_{i.}$  = la media de todos los mestizos con el  $i^{\text{th}}$  ciclo, promediada sobre todas las repeticiones, ambientes y probadores,

$\bar{X}_{.j}$  = la media de todos los mestizos con el  $j^{\text{th}}$  probador, promediada sobre todas las repeticiones, ambientes y ciclos,

$\bar{X}_{ij}$  = la media de un mestizo con el  $i^{\text{th}}$  ciclo y el  $j^{\text{th}}$  probador, promediada sobre todas las repeticiones y ambientes, y

$\bar{X}_{..}$  = la media general a través de ambientes

Las varianzas de los efectos estimados para las ACG y ACE se calcularon como lo describió Griffing (1956):

$$\text{Var}(\hat{g}_i) = [p-1/p(p-2)]\hat{\sigma}^2 ,$$

$$\text{Var}(\hat{s}_{ij}) = (p-3)/(p-1)\hat{\sigma}^2 , \text{ donde}$$

CUCBA



BIBLIOTECA CUCBA

$$\begin{aligned} \text{Var}(\hat{g}_i) &= \text{varianza para ACG de ciclos y probadores} \\ \text{Var}(\hat{s}_{ij}) &= \text{varianza para ACE de ciclos y probadores} \\ p &= \text{número de ciclos o probadores} \\ \hat{\sigma}^2 &= \text{cuadrado medio del error (CME)} \end{aligned}$$

Para determinar si los valores estimados de las varianzas eran o no significativos se obtuvo la  $t_c$  y se comparó con la  $t_c$  Griffing (1956).

$$\text{para ACG } t_c = (\hat{g}_i) / Sg_i,$$

$$\text{para ACE } t_c = \hat{s}_{ij} / Ss_{ij}, \text{ donde}$$

$t_c$  = valor de  $t$  calculada

$\hat{g}_i$  = valor estimado de la ACG

$Sg_i$  = desviación estándar de  $g_i = \sqrt{\text{Var}(g_i)}$

$\hat{s}_{ij}$  = valor estimado de la ACE

$Ss_{ij}$  = desviación estándar de  $s_{ij} = \sqrt{\text{Var}(s_{ij})}$

$$t_c = t(\alpha_{0.05}, 57) = 2.000$$

$t_c$  = valor de  $t$  tabulada para las ACG y ACE

$\alpha_{0.05}$  = nivel de probabilidad

57 = grados de libertad del error

### 3.15.3. Medición del avance de selección

Se hizo una regresión lineal simple entre el carácter de interés y los tres ciclos de selección, cuyo modelo estadístico fue  $Y_{ij} = a + bX_i + e_{ij}$ , donde:

$Y_{ij}$  = variable dependiente (carácter medido)

$a$  = ordenada al origen

$b$  = coeficiente de regresión, que representa el  
indicador del avance de selección por ciclo

$X_i$  = variable independiente (ciclos de selección)

$e_{ij}$  = efecto del error

La evaluación estadística del avance a la selección se efectuó probando la hipótesis de  $H_0: \beta = 0$  vs  $H_a: \beta \neq 0$ , utilizándose además la función t-student como estadístico de prueba de los coeficientes de regresión.

Los valores de  $t_c$  se calcularon como sigue:

$t_c = b/S_b$ , donde:

$b$  = coeficiente X

$S_b$  = error estándar del coeficiente X

Luego se estimó el valor crítico de t al 0.05 de probabilidad y a los grados de libertad del error [ $t_c (\alpha_{0.05}, 2)$ ]. La regla de decisión en la prueba de hipótesis de los  $\beta$ 's fue la siguiente: si la  $t_c \geq t_c$ , entonces se rechaza la  $H_0$  y se acepta la alternativa de que el coeficiente de regresión es  $\neq 0$  bajo una magnitud del 5% de probabilidad.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1. Análisis de varianza

Para el análisis de varianza correspondiente a 1993 (Cuadro 7) se observa que los cinco caracteres medidos mostraron diferencias significativas para los factores ciclos (C) y probadores (P), con la excepción días floración para el factor ciclos.

Los resultados obtenidos en 1994 (Cuadro 8), que incluyeron además el rendimiento, fueron un tanto similares a los encontrados en 1993, en este caso los seis caracteres mostraron significancia para los factores C y P, con excepción de roya para el factor C y del rendimiento para el factor P.

Consecuentemente, en el análisis combinado (Cuadro 9), los cinco caracteres mostraron significancia para los factores C y P en todos los casos.

En los tres análisis los cuadrados medios para tizón foliar fueron de menor magnitud para el factor C que para P, lo cual se debió a que el factor C presentó menor variación; en cambio, para altura de planta fue al contrario.

Se considera que la significancia estadística para el factor C fue el resultado de los cambios en las frecuencias génicas de  $C_0$  a  $C_1$ , ocurridas en el proceso de selección, y la significancia para el factor P refleja la respuesta diferencial entre los cinco P; en ambos casos con respecto a cada uno de los caracteres medidos.

Cuadro 7. Cuadrados medios del análisis de varianza para cinco caracteres agronómicos de las progenies de las cruizas ciclos x probadores en 1993.

Fuente de variación	gl	caracteres agronómicos				
		DF	TF	AP	RO	PT
Repeticiones	3	16.50	0.17	0.01	0.03	1.15
Ciclos (C)	3	14.83	0.09*	0.32**	0.18*	4.71**
Probadores (p)	4	95.17**	1.90**	0.08**	0.29**	7.17**
C x P	12	20.30**	0.44**	0.03*	0.07	1.49
Error	57	6.15	0.03	0.01	0.06	
C V (%)		3.19	10.01	6.16	12.98	129.03
Media		77.70	1.80	1.93	1.95	0.74

\* significativo al nivel 0.05 de probabilidad

\*\* significativo al nivel 0.01 de probabilidad

DF- días floración  
 AP- altura planta  
 TF- tizón foliar  
 RO- roya  
 PT- pudrición tallo

Cuadro 8. Cuadrados medios del análisis de varianza para seis caracteres agronómicos de las progenies de las cruizas ciclos x probadores en 1994.

Fuente de variación	gl	caracteres agronómicos					
		REND++	DF	TF	AP	RO	PT
Repeticiones	3	3150315	0.22	0.02	0.01	0.0002	13.38
Ciclos (C)	3	13511346**	10.62**	0.27**	0.24**	0.003	13.61**
Probadores (p)	4	852342	97.39**	4.56**	0.10**	0.27**	50.98**
C X P	12	1108709	1.79	0.02*	0.01	0.003	7.37**
Error	57	805191	1.16	0.01	0.01	0.004	2.77
C V (%)		12.90	1.54	5.32	5.47	4.45	89.42
Media		6957	69.98	2.09	1.77	1.36	1.86

\* significativo al nivel 0.05 de probabilidad

\*\* significativo al nivel 0.01 de probabilidad

++ En el caso de rendimiento los gl correspondientes al error fueron 54 debido a que un tratamiento se perdió en tres repeticiones

REND- rendimiento de grano

DF- días floración

AP- altura planta

TF- tizón foliar

RO- roya

PT- pudrición tallo

Cuadro 9. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado (1993-1994) para cinco caracteres agronómicos de las progenies de las cruzas ciclos x probadores.

Fuente de variación	gl	caracteres agronómicos				
		DF	TF	AP	RO	PT
Ambientes (A)	1	2387.03**	3.16**	1.07**	13.81**	50.63**
Repeticiones/A	6	8.36	0.10	0.01	0.02	7.21
Ciclos (C)	3	24.69**	0.34**	0.53**	0.09*	15.62**
Probadores (P)	4	172.21**	6.16**	0.18**	0.39**	38.10**
A x C	3	0.76	0.03	0.03	0.09*	2.71
A x P	4	20.35**	0.30**	0.001	0.18**	20.05**
C x P	12	10.84**	0.23**	0.01	0.04	4.84**
A x C x P	12	11.25**	0.23**	0.02*	0.03	4.03**
Error	114	3.66	0.02	0.01	0.03	1.84
CV (%)		2.59	7.71	5.86	11.11	104.33
Media		73.84	1.94	1.85	1.66	1.30

\* significativo al nivel 0.05 de probabilidad

\*\* significativo al nivel 0.01 de probabilidad

DF- días floración

AP- altura planta

TF- tizón foliar

RO- roya

PT- pudrición tallo

La significancia para la interacción ciclos x probadores (C x P) representa la respuesta diferencial entre las cruzas de cada ciclo con los cinco probadores.

La significancia entre ambientes (A), manifestada en todos los caracteres medidos, indica que éstos fueron sensibles a variaciones de suelo y clima (temperatura, precipitación, humedad relativa, etc.) en los dos años de evaluación 1993 y 1994.

La significancia de la triple interacción años x ciclos x probadores (A x C x P) indica que hubo diferencias en la respuesta de las cruzas de ciclos x probadores entre los dos años, lo cual puede también atribuirse a variaciones de clima y suelo.

En las diferentes interacciones, el carácter tizón foliar presentó mayor número de valores significativos que la altura de planta; sin embargo, es conveniente señalar que en este caso las interacciones no dan información sobre la respuesta a la efectividad de la selección, sino que indican la ausencia de paralelismo en la respuesta a la selección. Esto se observa en la Figura 2, la cual muestra una tendencia muy clara en la reducción de tizón y altura de planta en la interacción A x C del análisis combinado, a pesar de que no hubo significancia para ambos caracteres (Cuadro 9).

#### 4.2. Pruebas de medias

##### 4.2.1. Tizón foliar

En el Cuadro 10, referente a los promedios de tizón foliar, se observa que en 1993 el  $C_0$  fue significativamente diferente a los

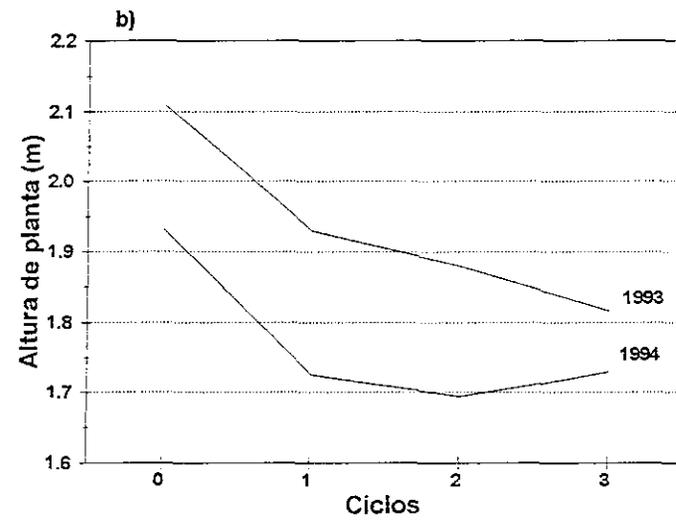
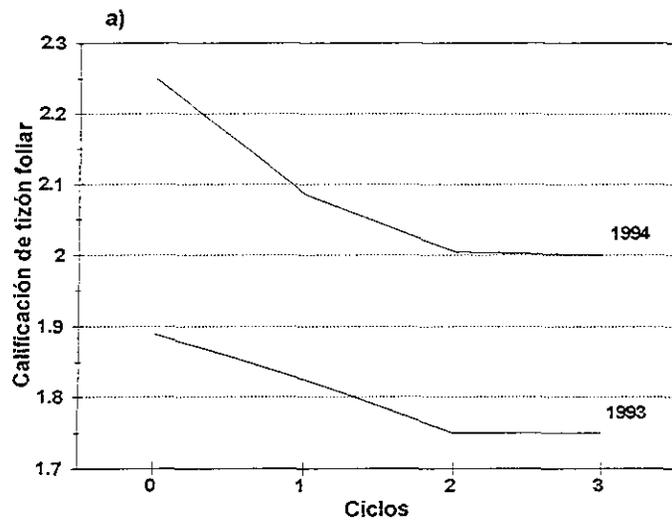


Figura 2. Interacción años x ciclos para tizón foliar *Exserohilum turcicum* (Leo y Sug.) (a) y altura de planta (b).

Cuadro 10. Promedios de tizón foliar de ciclos a través de probadores y probadores a través de ciclos, por año y combinación de años.

Factor	A ñ o s		
	1993	1994	1993-1994
Ciclos			
C <sub>0</sub>	1.890 A *	2.250 A	2.070 A
C <sub>1</sub>	1.825 A B	2.085 B	1.955 B
C <sub>2</sub>	1.750 B	2.005 C	1.878 C
C <sub>3</sub>	1.750 B	2.000 C	1.875 C
LSD <sub>(0.05)</sub>	0.114	0.070	0.066
Probadores			
E13A	1.488 C	1.525 C	1.506 C
B140A	1.388 C	1.506 C	1.447 C
ATx623	2.013 B	2.356 B	2.184 B
R5A	1.963 B	2.375 B	2.169 B
ATx627	2.169 A	2.663 A	2.416 A
LSD <sub>(0.05)</sub>	0.128	0.079	0.074

\* Promedios con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí al nivel de probabilidad 0.05.

ciclos  $C_2$  y  $C_3$ , en 1994 y en el promedio de 1993-94 el  $C_0$  fue significativamente diferente a los  $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$ .

Las diferencias en los promedios de tizón foliar entre el  $C_0$  y  $C_3$  variaron de 0.14 en 1993 a 0.25 en 1994, en la escala de 1 a 5, lo cual representó una reducción de 7.4 y 11.1%, respectivamente. También se observa que los promedios de tizón foliar tendieron a reducirse consistentemente del  $C_0$  al  $C_3$ , lo que confirma que hubo avance en el proceso de selección.

Por otra parte, en los promedios *per se* (Cuadro 11) la diferencia entre el  $C_0$  y  $C_3$  (2.18-1.53) representó una disminución de 29.8%; posiblemente estas diferencias en porcentaje se debieron a que en el caso de los promedios de ciclos a través de probadores la frecuencia de genes susceptibles a tizón foliar se vio aumentada por los probadores susceptibles.

La incorporación en 1990 de las 20 líneas resistentes a tizón foliar al compuesto balanceado del  $C_2$ , no modificó en forma clara la resistencia de la población TP-17 en el  $C_3$ , puesto que  $C_2$  y  $C_3$  tuvieron promedios muy similares en los dos años y el promedio. En parte, esto se debió a que el 10% que representaron las 20 líneas fue un porcentaje bajo. Sin embargo, si se toma en cuenta que la herencia de la resistencia a tizón foliar presenta las variantes monogénica, que es usualmente dominante, y poligénica (Frederiksen, 1986; Sigulas *et al.*, 1988; Leath *et al.*, 1990; Brewster *et al.*, 1992), es probable que el efecto adicional en la resistencia de la TP-17 aportada por las 20 líneas se observe a partir del  $C_4$ . La herencia de tipo poligénica daría mayor estabilidad a la TP-17 ya

Cuadro 11. Promedios de ciclos y probadores *per se* para tres caracteres agronómicos y rendimiento en 1994.

Factor	Días flor	Tizón foliar	Altura planta (m)	Rend. (kg/ha)
<b>Ciclos</b>				
C <sub>0</sub>	69.50 A *	2.18 A	2.05 A	7490 A
C <sub>1</sub>	68.00 A	2.08 AB	1.85 AB	6008 A
C <sub>2</sub>	68.00 A	1.80 BC	1.72 B	7658 A
C <sub>3</sub>	68.25 A	1.53 C	1.75 B	7085 A
<b>Probadores</b>				
E13A	68.50 B	1.23 C	1.23 B	6403 B
B140A	70.00 B	1.43 C	1.28 B	7619 AB
ATx623	70.50 B	2.10 B	1.55 A	7063 AB
R5A	76.50 A	2.45 A	1.44 AB	9236 A
ATx627	69.00 B	2.35 AB	1.37 AB	6175 B

\* Promedios con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí al nivel de probabilidad 0.05.

que implica la resistencia horizontal. Por otra parte, la incorporación de estas líneas podría dar otras combinaciones favorables, ya que son en general muy sanas, uniformes, de porte bajo y con buena producción de grano; además, prácticamente no están emparentadas con la TP-17.

Los promedios de los cinco probadores quedaron en el mismo orden en los tres análisis. El probador susceptible ATx627 fue significativamente diferente a los demás; no hubo diferencia entre el probador resistente E13A y el tolerante B140A, ni entre el tolerante ATx623 y el susceptible R5A. Aún cuando el probador E13A se incluyó como resistente a tizón foliar, se observó que el probador tolerante B140A presentó promedios de sanidad un poco más bajos; algo similar ocurrió entre los probadores ATx623 y R5A, pues no obstante que R5A está catalogado como susceptible a tizón foliar presentó gran similitud a los promedios de ATx623 que es considerado tolerante. Esto indica que la población TP-17 mostró variación en las cruzas con los diferentes tipos de germoplasma anotados en el Cuadro 4.

Se considera que las calificaciones de tizón foliar fueron un tanto bajas ( $\leq 3$ ) cuando se llevó a cabo la evaluación en 1993 y 1994, debido a la disminución de la superficie sembrada con sorgo en la Ciénega de Chapala, ya que de 114,877 ha en 1990 se redujo a 4656 ha en 1993 y a 11,749 ha en 1994, lo que seguramente trajo consigo reducción del inóculo de tizón foliar en el ambiente. No obstante, las diferencias observadas en las calificaciones de tizón foliar entre ciclos y entre probadores fueron consistentes a través

de años y el promedio de estos.

#### 4.2.2. Altura de planta

En los promedios de altura de planta (Cuadro 12), el  $C_0$  fue significativamente diferente a los demás en los tres análisis; el  $C_3$  fue significativamente diferente al  $C_1$  en 1993 y en el análisis combinado, pero en ningún caso mostró significancia con el  $C_2$ . Se observa que las diferencias entre los promedios de los  $C_0$  y  $C_3$  oscilaron de 0.20 m (1.93-1.73) a 0.29 m (2.11-1.82), lo que representó una reducción de 10.5 a 13.9%; estas diferencias fueron muy similares a las de los promedios *per se* (Cuadro 11). Esto se logró fundamentalmente por la eliminación de las plantas demasiado altas (hasta de 3.5 m) de la población TP-17.

En relación a los probadores, E13A y ATx623 que presentaron los promedios más bajos y más altos respectivamente, generalmente fueron diferentes a los demás, y en ningún caso hubo significancia entre los probadores B140A, R5A y ATx627. Estos resultados coinciden con la altura que tiene cada probador *per se* ya que por ejemplo el probador ATx623 fue 31 cm más alto que E13A (Cuadro 11).

Las diferencias significativas detectadas entre los ciclos de selección en los promedios de tizón foliar y de altura de planta, indican que la selección hacia estos caracteres fue efectiva; con esto, se acepta la primera hipótesis planteada en este trabajo.

Cuadro 12. Promedios de altura de planta de ciclos a través de probadores y probadores a través de ciclos, por año y combinación de años.

Factor	A ñ o s		
	1993	1994	1993-1994
<b>Ciclos</b>			
C <sub>0</sub>	2.110 A *	1.932 A	2.021 A
C <sub>1</sub>	1.930 B	1.726 B	1.828 B
C <sub>2</sub>	1.879 B C	1.694 B	1.786 B C
C <sub>3</sub>	1.816 C	1.730 B	1.773 C
LSD <sub>(0.05)</sub>	0.075	0.061	0.048
<b>Probadores</b>			
E13A	1.841 C	1.662 C	1.752 C
B140A	1.904 B C	1.742 B	1.823 B
ATx623	2.037 A	1.875 A	1.956 A
R5A	1.956 A B	1.795 B	1.875 B
ATx627	1.929 B	1.777 B	1.853 B
LSD <sub>(0.05)</sub>	0.084	0.069	0.054

\* Promedios con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí al nivel de probabilidad 0.05.

#### 4.2.3. Días a floración

En los promedios de días a floración para ciclos (Cuadro 13), existió una diferencia aproximada de un día entre el C<sub>0</sub> y el C<sub>3</sub>, correspondiendo los valores más altos al C<sub>0</sub>; estas diferencias no muy apreciables en días se explican por la eliminación más o menos proporcional de plantas precoces y tardías de la población TP-17 que mostraron cierta susceptibilidad al tizón foliar y a la pudrición del tallo. En general, los promedios del C<sub>0</sub> en los tres análisis fueron significativamente diferentes a los promedios de los otros tres ciclos, pero entre éstos últimos prácticamente no hubo diferencias.

En lo referente a los probadores, los promedios más altos correspondieron a R5A y los más bajos a E13A, mismos que tendieron a ser significativamente diferentes a los demás. Esto estuvo muy relacionado con los resultados de los probadores *per se* ya que R5A fue 8 días más tardío que E13A (Cuadro 11).

#### 4.2.4. Roya

En cuanto a los promedios de roya (Cuadro 14), considerados como bajos en la escala de 1 a 5, se observa que el C<sub>0</sub> mostró diferencia significativa con respecto a los otros tres ciclos en 1993 y el promedio 1993-94, pero entre los ciclos C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> y C<sub>3</sub> no hubo diferencias. Este ligero incremento debe obedecer a que no se seleccionó para roya y el material seleccionado tuvo índices de roya de 0 a 12.3% más altos. El probador E13A fue el que mostró

promedios significativamente menores, los otros cuatro probadores mostraron cierta inconsistencia en los tres análisis, pero en general, B140A y R5A fueron los que tuvieron promedios más altos.

Cuadro 13. Promedios de días a floración de ciclos a través de probadores y probadores a través de ciclos, por año y combinación de años.

Factor	A ñ o s		
	1993	1994	1993-1994
Ciclos			
C <sub>0</sub>	78.90 A *	70.90 A	74.90 A
C <sub>1</sub>	77.10 B	69.20 C	73.15 B
C <sub>2</sub>	77.05 B	69.65 B C	73.35 B
C <sub>3</sub>	77.75 A B	70.15 B	73.95 B
LSD <sub>(0.05)</sub>	1.57	0.68	0.85
Probadores			
E13A	74.125 C	68.000 D	71.063 D
B140A	77.313 B	68.500 C D	72.906 C
ATx623	79.625 A	69.938 B	74.781 B
R5A	80.313 A	74.188 A	77.250 A
ATx627	74.125 B	69.250 B C	73.188 C
LSD <sub>(0.05)</sub>	1.756	0.764	0.947

\* Promedios con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí al nivel de probabilidad 0.05.

Cuadro 14. Promedios de roya de ciclos a través de probadores y probadores a través de ciclos, por año y combinación de años.

Factor	A ñ o s		
	1993	1994	1993-1994
Ciclos			
C <sub>0</sub>	1.825 B *	1.365 A	1.595 A
C <sub>1</sub>	1.975 A	1.345 A	1.660 A
C <sub>2</sub>	1.950 A	1.370 A	1.660 A
C <sub>3</sub>	2.050 A	1.370 A	1.710 A
LSD <sub>(0.05)</sub>	0.160	0.038	0.082
Probadores			
E13A	1.813 B	1.150 D	1.481 B
B140A	2.000 A	1.431 B	1.716 A
ATx623	2.000 A	1.331 C	1.666 B
R5A	2.125 A	1.425 B	1.775 A
ATx627	1.813 B	1.475 A	1.644 B
LSD <sub>(0.05)</sub>	0.179	0.043	0.091

\* Promedios con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí al nivel de probabilidad 0.05.

#### 4.2.5. Pudrición del tallo

En los promedios de pudrición del tallo (Cuadro 15) se observa una misma secuencia en la posición de los ciclos en los tres análisis. Los promedios más bajos correspondieron al C<sub>3</sub> que fue significativamente diferente al C<sub>0</sub> en todos los casos, con diferencias de 71.4 a 77.8%; sin embargo, hay que hacer notar que los coeficientes de variación fueron muy altos debido a la gran variabilidad de este carácter. Los bajos promedios de pudrición del tallo confirman que la población TP-17 tiene fuentes de resistencia a *Fusarium spp.*, como lo indicaron Duncan *et al.*, 1987.

Los probadores E13A, B140A y ATx623 tendieron a ser significativamente diferentes a R5A y ATx627 que fueron los que mostraron los promedios más altos.

#### 4.2.6. Rendimiento de grano

Finalmente, en los promedios de rendimiento de grano (Cuadro 16), los C<sub>0</sub> y C<sub>1</sub> fueron significativamente diferentes a los C<sub>2</sub> y C<sub>3</sub>; esto se debió fundamentalmente a que el C<sub>0</sub> tenía cierto porcentaje de plantas con altura superior a 1.80 m, mismas que se fueron descartando durante el proceso de selección, y dado que la altura de planta está positivamente correlacionada con el rendimiento (Miller, 1979) y los días a floración, éste disminuyó a través de los ciclos de selección hasta un 22.6% en el C<sub>3</sub> (5811 a 7507), lo cual refleja además el efecto de los probadores con

Cuadro 15. Promedios de pudrición de tallo de ciclos a través de probadores y probadores a través de ciclos, por año y combinación de años.

Factor	A ñ o s		
	1993	1994	1993-1994
<b>Ciclos</b>			
C <sub>0</sub>	1.350 A *	1.450 A	1.900 A
C <sub>1</sub>	0.900 A B	2.450 A	1.675 A B
C <sub>2</sub>	0.400 B	1.850 A	1.125 B
C <sub>3</sub>	0.300 B	0.700 B	0.500 C
LSD <sub>(0.05)</sub>	0.603	1.055	0.601
<b>Probadores</b>			
E13A	0.500 B C	1.000 B C	0.750 C
B140A	0.188 C	0.438 C	0.313 C
ATx623	0.250 C	0.937 B C	0.594 C
R5A	1.812 A	2.063 B	1.937 B
ATx627	0.937 B	4.875 A	2.906 A
LSD <sub>(0.05)</sub>	0.674	1.179	0.672

\* Promedios con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí al nivel de probabilidad 0.05.

porte bajo de planta, ya que la reducción del rendimiento de C<sub>0</sub> a C<sub>3</sub> (7490 a 7085) en los ciclos *per se* representó tan solo el 5.4% (Cuadro 11). En contraste, los cinco probadores fueron estadísticamente iguales (Cuadro 16).

Cuadro 16. Promedios de rendimiento de ciclos a través de probadores y probadores a través de ciclos en 1994.

Ciclos	Rend. (kg/ha)	Probadores	Rend. (kg/ha)
C <sub>0</sub>	7507 A *	E13A	6712 A
C <sub>1</sub>	7755 A	B140 A	6957 A
C <sub>2</sub>	6490 B	ATx623	6649 A
C <sub>3</sub>	5811 B	R5A	7234 A
		ATx627	6901 A
LSD <sub>(0.05)</sub>	900		636

\* Promedios con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí al nivel de probabilidad 0.05.

#### 4.3. Efectos de aptitud combinatoria general (ACG)

Cuando la selección implica una reducción del carácter a mejorar, los mayores efectos de ACG presentan valores con signo negativo y los de menor ACG presentan valores con signo positivo; la suma de todos los valores de ACG es igual a cero, debido a que

son desviaciones de la media general.

#### 4.3.1. Efectos de ACG de ciclos

Los resultados de los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) para ciclos cruzados con los cinco probadores, por año y promedio de años, se presentan en el Cuadro 17.

4.3.1.1. Tizón foliar. Para tizón foliar los efectos más altos, con valores negativos, fueron para los  $C_2$  y  $C_3$ , cuyos valores en cada año y en el promedio de años fueron muy similares, aunque ninguno de ellos fue significativo. De todos los casos, solamente el  $C_0$  en 1994 tuvo un valor positivo significativo (0.165 unidades) que representó una mayor contribución al desarrollo de tizón foliar. Los valores de ACG reflejaron una tendencia consistente en la reducción de tizón foliar del  $C_0$  al  $C_3$  por año y promedio de años (Figura 3); la diferencia más contrastante en los valores de ACG correspondió, como se indicó, a 1994 ya que en este año las condiciones ambientales favorecieron un mayor desarrollo de tizón foliar, permitiendo así detectar más fácil diferencias entre los ciclos; sin embargo, no hay que olvidar que la incidencia de tizón foliar no fue muy severa durante el período de evaluación de los ciclos de selección en 1993 y 1994. De cualquier manera, es posible considerar que los cambios en los valores medios obtenidos del  $C_0$  al  $C_3$  indiquen un incremento paulatino en la frecuencia de genes de resistencia para esta enfermedad en el proceso de selección. Esto

coincide con las metas que se persiguen al utilizar la selección recurrente, señaladas por Bhola Nath (1982) y Fehr (1987).

Cuadro 17. Efectos estimados de aptitud combinatoria general (ACG) de ciclos, por año y combinación de años

Años	Ciclos	Días flor	Altura planta	Tizón foliar	Roya	Pudrición tallo	Rend
-----							
1993							
	C <sub>0</sub>	1.200	0.176*	0.086	-0.120	0.613	
	C <sub>1</sub>	-0.600	-0.004	0.021	0.030	0.163	
	C <sub>2</sub>	-0.650	-0.055	-0.054	0.000	-0.338	
	C <sub>3</sub>	0.050	-0.118	-0.054	0.100	-0.438	
-----							
1994							
	C <sub>0</sub>	0.925	0.161**	0.165*	0.003	0.588	616
	C <sub>1</sub>	-0.775	-0.045	0.000	-0.018	0.588	864
	C <sub>2</sub>	-0.325	-0.077	-0.080	0.008	-0.013	-401
	C <sub>3</sub>	0.175	-0.040	-0.085	0.008	-1.163	-1079*
-----							
1993-1994							
	C <sub>0</sub>	1.063	0.169*	0.126	-0.061	0.600	
	C <sub>1</sub>	-0.688	-0.024	0.011	0.004	0.375	
	C <sub>2</sub>	-0.488	-0.066	-0.067	0.004	-0.175	
	C <sub>3</sub>	0.113	-0.079	-0.069	0.054	-0.800	

\*, \*\* significativo a los niveles de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

4.3.1.2. Altura de planta. Para el carácter altura de planta, en los tres análisis los efectos de ACG del C<sub>0</sub> fueron estadísticamente significativos, esto debido al tipo de herencia y heredabilidad del carácter, pues se ha señalado que el método de selección individual es más efectivo en caracteres con alta heredabilidad como la altura de planta (Matzinger *et al.*, 1977; House, 1982). A partir del C<sub>0</sub>, en los tres ciclos de selección se manifestó un efecto positivo de

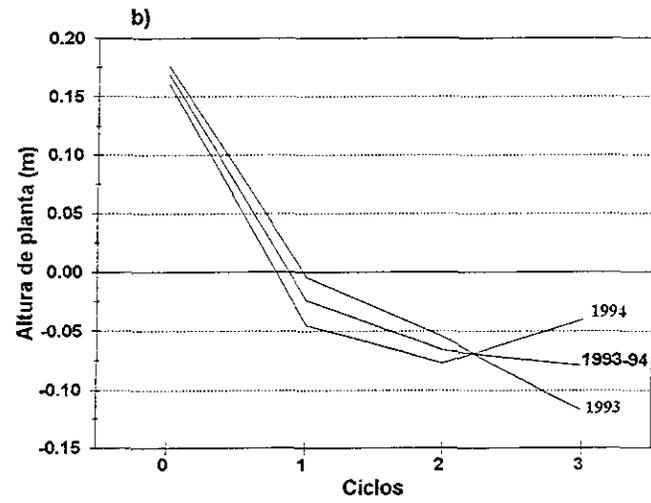
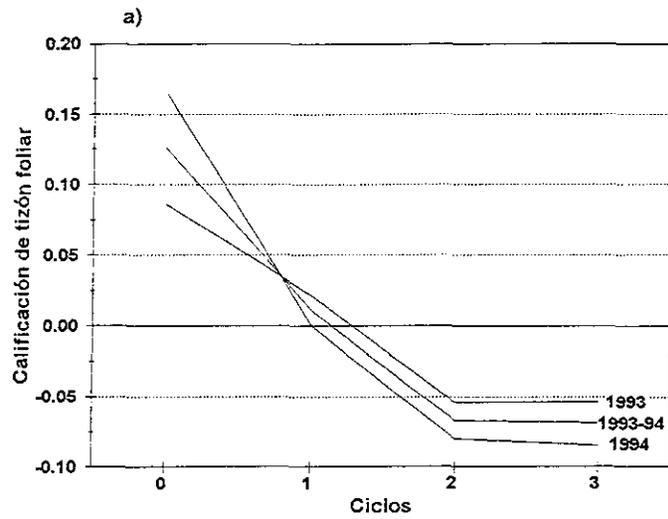


Figura 3. Efectos de aptitud combinatoria general para tizón foliar *Exserohilum turcicum* (Leo y Sug.) (a) y altura de planta (b).

ACG para la disminución de altura de planta (Figura 3); es decir, hubo una disminución de los genes que contribuyen para el porte alto de planta; el  $C_3$  tuvo el valor absoluto más alto (-0.118 m) en 1993, lo mismo que en el promedio de los dos años con -0.079 m, aunque en ningún caso hubo valores significativos en  $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$ .

Los resultados mostraron que el  $C_3$  fue el que obtuvo los efectos de ACG más favorables para la resistencia a tizón foliar y disminución de la altura de planta.

En base a los resultados obtenidos en los promedios de ciclos a través de probadores, se puede concluir que el proceso de selección fue efectivo sobre la reducción de tizón foliar y altura de planta; esto permite confirmar una vez más la primera hipótesis planteada en este trabajo.

4.3.1.3. Rendimiento. La ACG más alta para rendimiento de grano se obtuvo en el  $C_1$  y la más baja en  $C_3$  con un valor significativo de -1079 kg; esto se debió en gran medida a lo que ya se señaló antes, es decir, a la eliminación de las plantas más altas que generalmente producen panojas de mayor tamaño por la correlación positiva entre altura de planta con rendimiento Miller (1979).

4.3.1.4. Días a floración, roya y pudrición de tallo. Con respecto a los efectos de ACG en el resto de caracteres, se encontró una ligera tendencia hacia la disminución de los días a floración (menor a un día) en los  $C_1$  y  $C_2$ , pero no así en el  $C_3$ . Sin embargo, en todos los casos los valores fueron menores que los del  $C_0$  y en

ningún caso hubo valores significativos. Esta misma tendencia se observó para pudrición de tallo en los tres ciclos de selección, pero tampoco hubo valores significativos. La roya, por el contrario, tendió a aumentar a través de los ciclos, pues en todos los casos el C<sub>3</sub> presentó los valores más bajos de ACG y el C<sub>1</sub> los más altos, aunque tampoco hubo valores significativos.

#### 4.3.2. Efectos de ACG de probadores

Los resultados de los efectos de ACG para probadores promediados sobre todos los ciclos, por año y promedio de años, se presentan en el Cuadro 18.

4.3.2.1. Tizón foliar. Los resultados mostraron valores significativos de ACG para tizón foliar en todos los probadores, con excepción de R5A en 1993. Los mayores efectos de ACG que favorecieron la disminución de tizón foliar correspondieron en todos los casos a B140A (-0.416 a -0.579) y E13A (-0.316 a -0.560) que son tolerante y resistente a tizón foliar, respectivamente; los valores menos favorables fueron para el probador susceptible ATx627 (0.365 a 0.578).

4.3.2.2. Altura de planta. Para la reducción de altura de planta, E13A mostró los valores más altos de ACG siendo significativo el correspondiente a 1994 (-0.108 m); el probador B140A se ubicó en segundo lugar (-0.028 a -0.029 m), aunque ninguno de sus valores

Cuadro 18. Efectos estimados de aptitud combinatoria general (ACG) de probadores, por año y combinación de años

Años	Probadores	Días flor	Altura planta	Tizón foliar	Roya	Pudrición tallo	Rend
1993							
	E13A	-3.575**	-0.092	-0.316**	-0.140	-0.238	
	B140A	-0.387	-0.029	-0.416**	0.050	-0.550	
	ATx623	1.925	0.103	0.209*	0.050	-0.488	
	R5A	2.613*	0.022	0.159	0.180	1.075*	
	ATx627	-0.575	-0.004	0.365**	-0.140	0.200	
-----							
1994							
	E13A	-1.975**	-0.108*	-0.560**	-0.213**	-0.863	-178
	B140A	-1.475*	-0.028	-0.579**	0.069*	-1.425	66
	ATx623	-0.037	0.105*	0.271**	-0.031	-0.926	-242
	R5A	4.213**	0.025	0.290**	0.063**	0.201	343
	ATx627	-0.725	0.007	0.578**	0.113**	3.013*	10
-----							
1993-1994							
	E13A	-2.775**	-0.100	-0.438**	-0.175	-0.550	
	B140A	-0.932	-0.029	-0.497**	0.059	-0.987	
	ATx623	0.944	0.104	0.240**	0.009	-0.706	
	R5A	3.413**	0.023	0.224**	0.119	0.637	
	ATx627	-0.650	0.001	0.471**	-0.013	1.606*	

\*, \*\* significativo a los niveles de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

fue significativo. ATx623 presentó los valores más bajos y fue significativo en 1994 (0.105 m). Miller (1979) indicó que se han identificado cuatro genes que controlan la altura de planta en sorgo y que el carácter planta alta es parcialmente dominante, es decir, que el efecto de los alelos recesivos en cualquiera de los cuatro loci es de naturaleza braquítica. Por lo tanto, el probador E13A debe tener mayor número de alelos en condición recesiva que el probador ATx623.

4.3.2.3. Rendimiento. El efecto más alto de ACG para rendimiento fue de R5A, con un valor de 343 kg, el valor más bajo de -242 kg fue para ATx623, pero en ningún caso fueron significativos (Cuadro 18).

En general, E13A mostró los mejores efectos de ACG en los caracteres medidos, con excepción de rendimiento, y en segundo lugar B140A, el primero tipo Martin x Short Kaura y el segundo Combine Kafir 60 (Der.). Sin embargo, más que el tipo de germoplasma al que corresponde cada probador, la ACG estuvo más directamente asociada con el comportamiento de los probadores *per se* para cada uno de los caracteres medidos.

#### 4.4. Efectos de aptitud combinatoria específica (ACE)

##### 4.4.1. Tizón foliar

El mayor efecto de ACE para la reducción de tizón foliar en 1993 (Cuadro 19) se obtuvo en la cruce del probador susceptible ATx627 x C<sub>3</sub>, con un valor significativo de -0.79 unidades. Otros efectos significativos para la reducción de tizón foliar fueron las cruces del probador resistente E13A x C<sub>0</sub> con un valor de -0.27, y del probador tolerante ATx623 x C<sub>0</sub> con un valor de -0.22.

Para 1994 (Cuadro 20) el mayor efecto de ACE fue para la cruce del probador susceptible R5A x C<sub>0</sub> con un valor único significativo de -0.14. Aparte de esta cruce los efectos más altos correspondieron al probador tolerante B140A con los C<sub>2</sub> y C<sub>3</sub> con

Cuadro 19. Efectos estimados de aptitud combinatoria específica (ACE) entre ciclos de selección y probadores en 1993.

Carácter	Ciclos	P r o b a d o r e s				
		E13A	B140A	ATx623	R5A	ATx627
Días floración	C <sub>0</sub>	-0.58	0.99	-1.08	-1.76	2.43
	C <sub>1</sub>	-1.03	-0.96	-0.28	0.54	1.73
	C <sub>2</sub>	-1.98	0.84	-0.73	1.84	0.03
	C <sub>3</sub>	3.58*	-0.86	2.08	-0.61	-4.18*
Altura planta	C <sub>0</sub>	-0.03	0.01	0.05	-0.07	0.03
	C <sub>1</sub>	-0.05	-0.02	0.01	0.04	0.02
	C <sub>2</sub>	-0.08	-0.00	-0.04	0.03	0.10
	C <sub>3</sub>	0.17*	0.01	-0.03	0.01	-0.15*
Tizón foliar	C <sub>0</sub>	-0.27*	0.03	-0.22*	0.03	0.45*
	C <sub>1</sub>	-0.01	-0.08	-0.06	-0.16	0.31*
	C <sub>2</sub>	-0.04	0.07	-0.03	-0.03	0.04
	C <sub>3</sub>	0.32*	-0.01	0.32*	0.17	-0.79*
Roya	C <sub>0</sub>	0.06	-0.13	-0.01	-0.01	0.06
	C <sub>1</sub>	-0.09	0.10	-0.03	-0.16	0.16
	C <sub>2</sub>	-0.06	0.00	0.00	0.01	0.07
	C <sub>3</sub>	0.09	0.03	0.03	0.15	-0.29
Pudrición tallo	C <sub>0</sub>	0.64	-0.55	-0.86	0.83	-0.05
	C <sub>1</sub>	-0.66	0.15	0.09	0.03	0.40
	C <sub>2</sub>	0.09	0.15	0.59	-0.97	0.15
	C <sub>3</sub>	-0.06	0.25	0.19	0.13	-0.50

\* significativo al nivel de probabilidad 0.05

Cuadro 20. Efectos estimados de aptitud combinatoria específica (ACE) entre ciclos de selección y probadores en 1994.

Carácter	Ciclos	P r o b a d o r e s				
		E13A	B140A	ATx623	R5A	ATx627
Rendimiento de grano	C <sub>0</sub>	239	-218	-598	766	-189
	C <sub>1</sub>	-261	597	-210	-462	336
	C <sub>2</sub>	458	-418	716	-238	-518
	C <sub>3</sub>	-437	39	92	-66	372
Días floración	C <sub>0</sub>	0.08	-0.43	0.39	0.39	-0.43
	C <sub>1</sub>	0.78	0.28	0.09	-0.91	-0.23
	C <sub>2</sub>	-0.93	0.08	-0.61	1.14	0.33
	C <sub>3</sub>	0.08	0.08	0.14	-0.61	0.33
Altura planta	C <sub>0</sub>	-0.00	-0.04	0.04	0.01	-0.01
	C <sub>1</sub>	-0.00	-0.01	-0.01	0.02	0.00
	C <sub>2</sub>	0.04	0.06	0.00	-0.09	-0.02
	C <sub>3</sub>	-0.04	-0.01	-0.03	0.05	0.03
Tizón foliar	C <sub>0</sub>	0.04	0.08	-0.02	-0.14*	0.05
	C <sub>1</sub>	-0.05	0.07	0.02	0.00	-0.04
	C <sub>2</sub>	-0.05	-0.08	0.02	0.11	-0.01
	C <sub>3</sub>	0.06	-0.07	-0.02	0.04	-0.00
Roya	C <sub>0</sub>	0.02	0.02	-0.03	-0.00	-0.00
	C <sub>1</sub>	-0.01	-0.01	0.01	-0.01	0.02
	C <sub>2</sub>	-0.03	0.04	0.01	-0.01	-0.01
	C <sub>3</sub>	0.02	-0.04	0.01	0.02	-0.01
Pudrición tallo	C <sub>0</sub>	0.66	-0.53	-0.02	-1.65	1.54
	C <sub>1</sub>	-1.59	-1.03	-0.52	1.60	1.54
	C <sub>2</sub>	0.76	0.57	-0.17	0.45	-1.61
	C <sub>3</sub>	0.16	0.97	0.73	-0.40	-1.46

\* significativo al nivel de probabilidad 0.05

valores de -0.08 y -0.07.

En el análisis del promedio de los dos años (Cuadro 21) el mayor efecto de ACE fue nuevamente para la cruza de ATx627 x C<sub>3</sub> con un valor significativo de -0.40; el resto de los valores con efecto

Cuadro 21. Efectos estimados de aptitud combinatoria específica (ACE) entre ciclos de selección y probadores para 1993-1994.

Carácter	Ciclos	P r o b a d o r e s				
		E13A	B140A	ATx623	R5A	ATx627
Días floración	C <sub>0</sub>	-0.25	0.28	-0.34	-0.69	1.00
	C <sub>1</sub>	-0.13	-0.34	-0.09	-0.19	0.75
	C <sub>2</sub>	-1.45	0.46	-0.67	1.49	0.17
	C <sub>3</sub>	1.82	-0.39	1.11	-0.61	-1.93
Altura planta	C <sub>0</sub>	-0.02	-0.01	0.05	-0.03	0.01
	C <sub>1</sub>	-0.03	-0.02	0.00	0.03	0.01
	C <sub>2</sub>	-0.02	0.03	-0.02	-0.03	0.04
	C <sub>3</sub>	0.07	-0.00	-0.03	0.03	-0.06
Tizón foliar	C <sub>0</sub>	-0.12	0.05	-0.12	-0.06	0.25*
	C <sub>1</sub>	-0.03	-0.01	-0.02	-0.08	0.14
	C <sub>2</sub>	-0.04	-0.01	-0.01	0.04	0.01
	C <sub>3</sub>	0.19*	-0.04	0.15	0.10	-0.40*
Roya	C <sub>0</sub>	0.04	-0.05	-0.02	-0.00	0.03
	C <sub>1</sub>	-0.05	0.04	-0.01	-0.08	0.09
	C <sub>2</sub>	-0.05	0.02	0.01	-0.00	0.03
	C <sub>3</sub>	0.05	-0.01	0.02	0.08	-0.15
Pudrición tallo	C <sub>0</sub>	0.65	-0.54	-0.44	-0.41	0.74
	C <sub>1</sub>	-1.13	-0.44	-0.22	0.81	0.97
	C <sub>2</sub>	0.43	0.36	0.21	-0.26	-0.73
	C <sub>3</sub>	0.05	0.61	0.46	-0.14	-0.98

\* significativo al nivel de probabilidad 0.05

favorable de ACE para reducción de tizón foliar no fueron significativos.

Hubo resultados de efectos con valores positivos de ACE para la resistencia de tizón foliar donde participaron tanto probadores resistentes, tolerantes como susceptibles con los diferentes ciclos de selección, observándose tendencia de valores altos para  $C_0$  y  $C_3$ .

En términos generales, el probador susceptible ATx627 fue el que mostró los mayores efectos de ACE y el probador tolerante B140A los más bajos. Bajo una suposición lógica se esperarían efectos de ACE no favorables para resistencia en  $C_0$  por probadores susceptibles por la ausencia de selección para resistencia a tizón foliar, y efectos de ACE favorables en  $C_3$  por probadores susceptibles porque  $C_3$  fue seleccionado para resistencia a tizón foliar. Por lo tanto, el mejor probador para medir el avance de selección hacia tizón foliar deberá ser susceptible.

#### 4.4.2. Altura de planta

Para altura de planta, en 1993 ATx627 x  $C_3$  (Cuadro 19) presentó el mayor efecto de ACE y fue la única con valor significativo (-0.15 m). En los resultados de 1994 y del promedio 1993-94 (Cuadros 20 y 21, respectivamente) no se detectó ningún valor significativo de ACE, y al igual que en 1993, se observa que los efectos positivos de ACE correspondieron a cruzas diferentes. No obstante, se observa que el probador de menor altura E13A fue el que mostró mayor consistencia con los ciclos a través de años y el

promedio.

#### 4.4.3. Días a floración, roya, pudrición de tallo y rendimiento

Los efectos de ACE en días a floración, roya, pudrición de tallo y rendimiento no fueron significativos, a excepción de ATx627 x C<sub>3</sub> en 1993 para días a floración con un valor de -4.18 y E13A x C<sub>3</sub> con un valor de 3.58. La razón por la cual los valores de 1993 correspondientes a las cruzas del probador E13A x C<sub>3</sub> hayan mostrado valores positivos o de baja ACE, pudiera atribuirse a que el tamaño de parcela de esta cruz a fue de un surco y la densidad de población muy baja, de 75 mil plantas/ha, comparada con las otras cruzas con parcelas de cuatro surcos y una densidad de 300 a 400 mil plantas/ha.

Las diferencias observadas en los efectos de ACE con los diferentes probadores a través de los ciclos de selección se debieron a los cambios en las frecuencias génicas, lo cual confirma la segunda hipótesis planteada en este trabajo.

#### 5.5. Respuesta a la selección

Los valores de los coeficientes de regresión obtenidos para medir el avance de selección con base en el promedio de ciclos a través de probadores, en ciclos *per se* y en cada probador a través de ciclos, en cada carácter, se presentan en el Cuadro 22.

## 5.5.1. Ciclos a través de probadores

En los coeficientes de regresión obtenidos se observó hubo una respuesta favorable en la reducción de tizón foliar con un valor no significativo de -0.066 unidades de calificación por cada ciclo de selección. Una respuesta similar se obtuvo para altura de planta con un valor no significativo de -7.8 cm por cada ciclo. La respuesta para ambos caracteres se presenta en la Figura 4.

Cuadro 22. Coeficientes de regresión sobre ciclos de selección, para el promedio de ciclos a través de probadores, para ciclos *per se* (1994) y para cada probador a través de ciclos, en cuatro caracteres agronómicos promediados a través de 1993 y 1994.

Factor	Días flor (días)	Altura planta (cm)	Tizón foliar (1-5)	Roya (1-5)	Pudrición tallo (%)
Promedio de ciclos <sup>1</sup>	-0.265	-7.8	-0.066	0.035	-0.475*
Ciclos <i>per se</i>	-0.325	-10.4	-0.223*	0.000	-0.225
Probadores					
E13A	0.225	-5.3	0.025	0.038	-0.500
B140A	-0.388	-7.2	-0.094	0.046	-0.050
ATx623	0.113	-10.5	0.016	0.046*	-0.163
R5A	-0.075	-6.6	-0.068	0.068	-0.500
ATx627	-1.200*	-9.6	-0.271*	-0.025	-0.163

\* significativo al nivel de probabilidad 0.05

<sup>1</sup> a través de probadores.

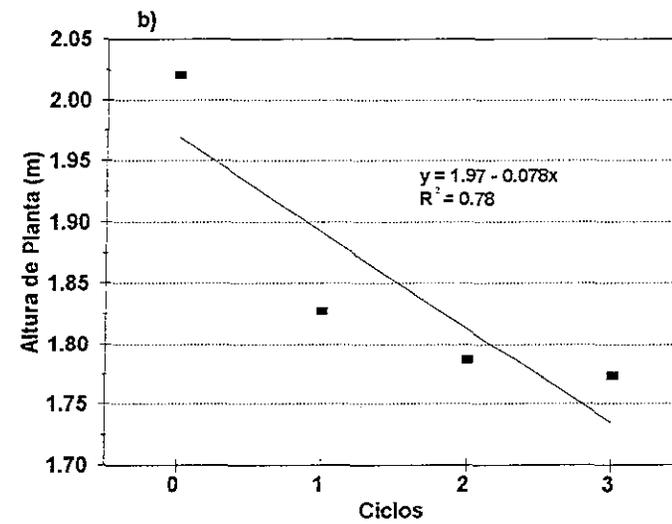
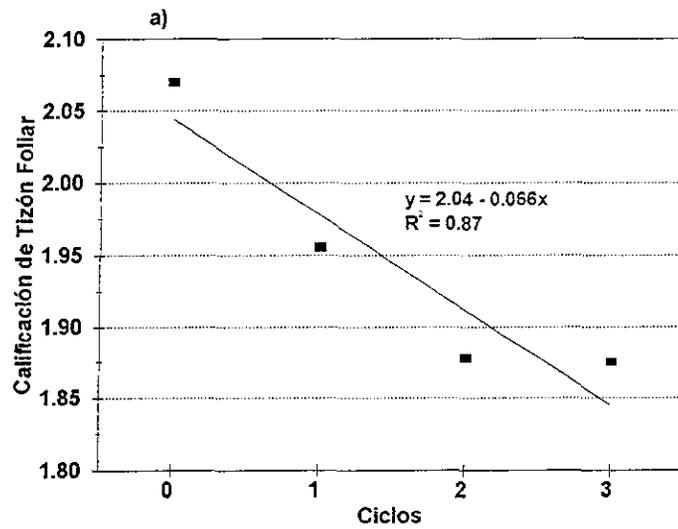


Figura 4. Respuesta de tres ciclos de selección para tizón foliar *Exserohilum turcicum* (Leo y Sug.) (a) y altura de planta (b) en la población TP-17, ignorando probadores.

### 5.5.2. Ciclos *per se*

Los coeficientes de regresión para medir el avance de ciclos de selección *per se*, mostraron un valor significativo de -0.223 unidades para tizón foliar. También en este caso la altura de planta tuvo una respuesta favorable con un valor no significativo de -10.4 cm por ciclo; ambas respuestas se observan en la Figura 5.

### 5.5.3. Probadores a través de ciclos

Para el avance de ciclos de selección utilizando los probadores individualmente, los coeficientes de regresión indicaron que, en el caso de tizón foliar, el mayor avance se reflejó con el probador susceptible ATx627 y fue el único que tuvo valor significativo con -0.271 unidades por cada ciclo de selección; le siguieron el probador tolerante B140A con un valor de -0.094, el probador susceptible R5A con un valor de -0.068 y los valores más bajos 0.025 y 0.016 para los probadores resistente E13A y tolerante ATx623, respectivamente.

Los valores más altos de los coeficientes de regresión para reducción de altura de planta correspondieron a los probadores con mayor altura de planta *per se*, ATx623 con una reducción de -10.5 cm y ATx627 con -9.6 cm por ciclo, y los valores más bajos a los probadores de menor altura, E13A con -5.3 cm y R5A con -6.6 cm. Se puede apreciar que los cinco probadores fueron capaces de detectar la reducción de altura de planta a través de los ciclos de selección, y los valores de regresión estuvieron directamente

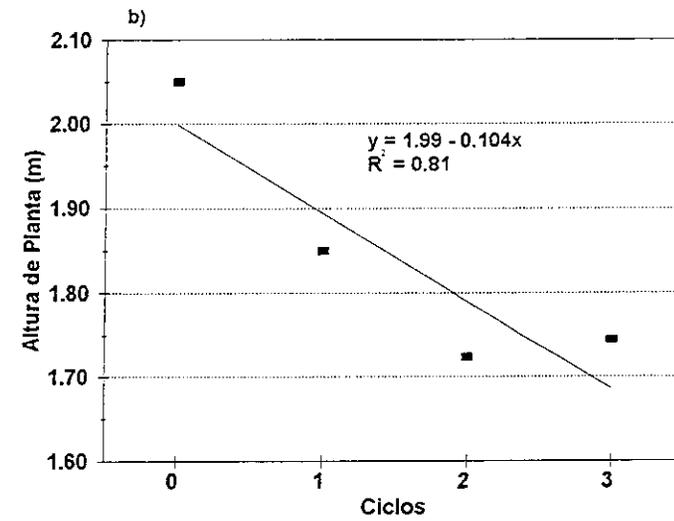
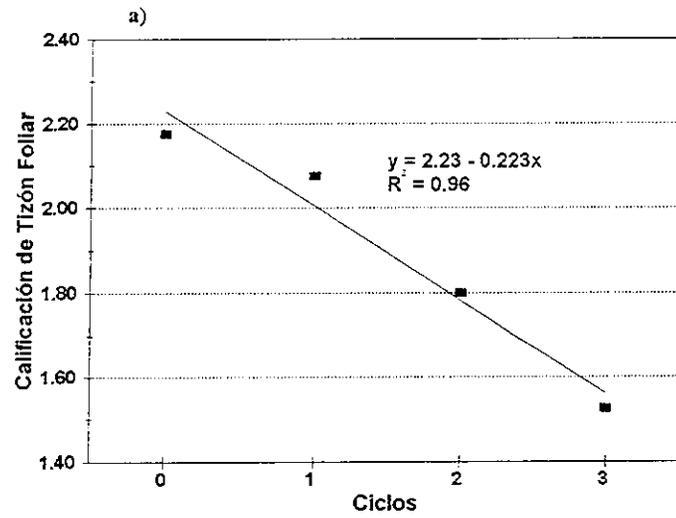


Figura 5. Respuesta de tres ciclos de selección, *per se*, para tizón foliar *Exserohilum turcicum* (Leo y Sug.) (a) y altura de planta (b) en la población TP-17.

relacionados con la altura de planta *per se* de cada probador.

En las Figuras 6 y 7 se muestran los valores observados y la ecuación de regresión para tizón foliar en cada probador (a,b,c,d,e) y altura de planta, respectivamente. Para tizón foliar, el mejor ajuste del modelo lineal a los valores observados correspondió a los probadores ATx627 y B140A con valores de  $R^2 = 0.97$  y  $0.90$  respectivamente, y para altura de planta el mejor ajuste correspondió a ATx627 y ATx623 con valores de  $R^2 = 0.90$  y  $0.82$  respectivamente. Estos resultados permiten reafirmar la confiabilidad en la interpretación de los resultados.

Los resultados indicaron que el probador ATx627 mostró los mejores ajustes al modelo de regresión lineal en los dos caracteres medidos, es el más indicado para usarse en subsiguientes evaluaciones de ciclos de selección de la TP-17.

La regresión permitió medir y cuantificar los avances para resistencia a tizón foliar y reducción de altura de planta con el método de selección individual utilizado en este trabajo. Estos resultados están acordes a los obtenidos por selección individual en diferentes caracteres agronómicos, reportados por Doggett, 1972; Bholá Nath, 1982; Flores, 1984.

Si se considera que el trabajo de selección en campo solamente se realizó en tres ( $C_0$ ,  $C_1$ ,  $C_2$ ), en realidad no era de esperar avances espectaculares en la reducción de tizón foliar y altura de planta por el método selección individual, que implica un progreso relativamente lento (Márquez, 1980). No obstante, se estima que con los avances logrados, con la obtención del  $C_4$  será

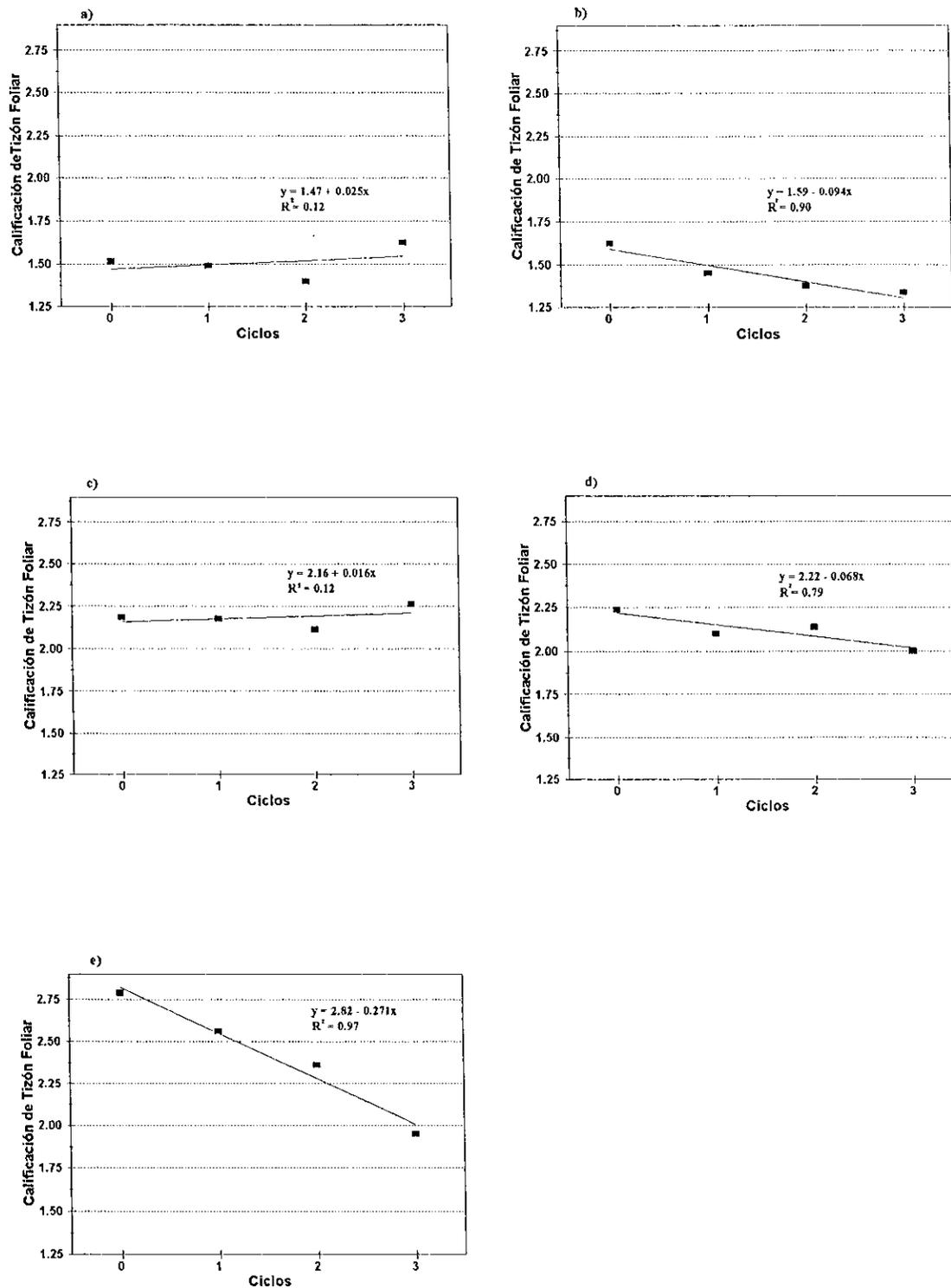


Figura 6. Respuesta a la selección para tizón foliar *Exserohilum turcicum* (Leo y Sug.) en la población TP-17, para cada probador: a) E13A, b) B140A, c) ATx623, d) R5A y e) ATx627.

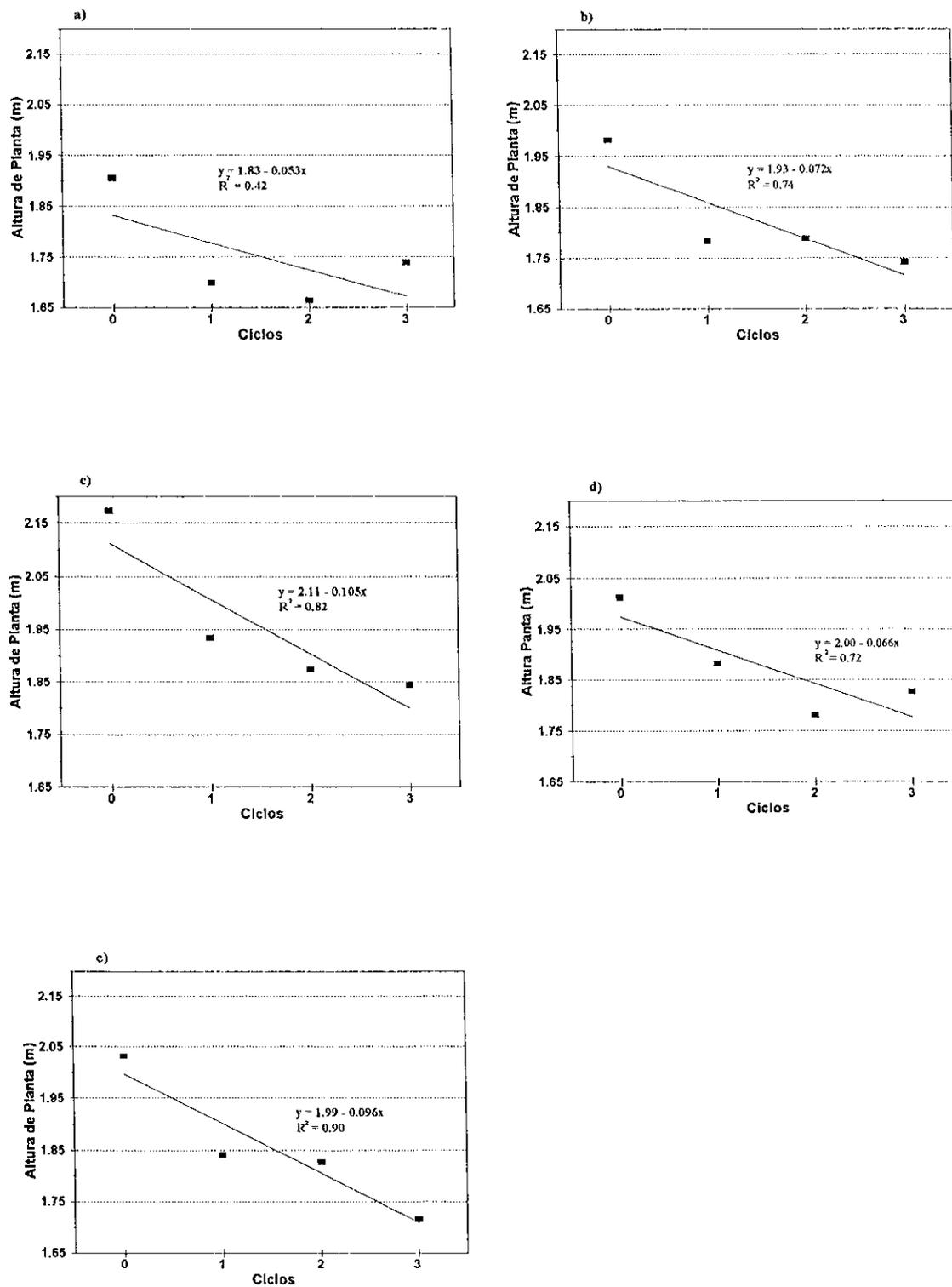


Figura 7. Respuesta a la selección para altura de planta en la población TP-17, para cada probador: a) E13A, b) B140A, c) ATx623, d) R5A y e) ATx627.

posible seleccionar y derivar material resistente a tizón foliar y con porte bajo de planta, para usarse como progenitores de híbridos o en diversos cruzamientos en métodos de mejoramiento tradicionales.

Además, el germoplasma de la población TP-17 difiere en gran medida del utilizado por el programa de sorgo de Ocotlán, lo que pudiera ser una ventaja adicional en la formación de híbridos mediante el aprovechamiento de los efectos de la heterosis.

## V. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones, los métodos y los materiales utilizados en este trabajo, se obtuvieron las conclusiones siguientes:

La selección individual fue efectiva para mejorar la resistencia a tizón foliar y reducir la altura de planta de la población TP-17, ya que ambos caracteres se redujeron gradualmente durante el proceso de selección del  $C_0$  al  $C_2$ , dando como resultado los mejores efectos de aptitud combinatoria general en  $C_3$ .

Los efectos de aptitud combinatoria específica indicaron que, la respuesta de los ciclos en las cruzas con los probadores estuvo más estrechamente relacionada con las características genéticas de los probadores *per se* y no con los tipos de germoplasma de los probadores.

No se detectó avance en la resistencia a tizón foliar en  $C_3$  por la incorporación de líneas del programa de Ocotlán al  $C_2$ , lo que pudiera atribuirse a que las líneas representaron sólo el 10% del compuesto balanceado, o a un mayor efecto de la herencia poligénica sobre la herencia simple dominante. Posiblemente la aportación de estas líneas se manifieste a partir del  $C_4$ .

El uso de probadores resistentes, tolerantes y susceptibles a tizón foliar, y con diferente altura de planta, fue útil en la detección de la acción génica a través del proceso de selección.

El probador susceptible ATx627 mostró los mejores ajustes al modelo de regresión lineal para tizón foliar y altura de planta, y es el que se sugiere para usarse en subsiguientes evaluaciones de ciclos de selección de la población TP-17.

Los coeficientes de regresión indicaron las siguientes ganancias por ciclo de selección: 1) Tizón foliar, -0.066 unidades de calificación para el promedio de ciclos a través de probadores y -0.223 unidades de calificación para ciclos *per se*, 2) Altura de planta, -7.8 cm para el promedio de ciclos a través de probadores y -10.4 cm para ciclos *per se*.

La población TP-17 es una fuente diferente de variabilidad genética porque su germoplasma difiere en gran medida del existente en el programa de Ocotlán, estimándose que a partir del C<sub>4</sub> será posible seleccionar y derivar líneas B y R resistentes a tizón foliar y a pudrición del tallo, con porte bajo de planta y buen potencial de rendimiento para usarse como progenitoras de híbridos o en diversos cruzamientos por el método genealógico o el de retrocruzamientos.

## VI. BIBLIOGRAFIA

- Allard, R.W. 1960. Principles of Plant Breeding. John Wiley & Sons, Inc. New York. N.Y. pp. 166-181.
- Bhola Nath. 1982. Population Breeding techniques in sorghum. *in*: sorghum in the eighties. Proceedings of the International Symposium on Sorghum. Volume I. November 2-7, 1981. ICRISAT, India. pp. 421-434.
- Brewster, V.A., M.L. Carson, and Z.W. Wicks., III. 1992. Mapping components of partial resistance to northern leaf blight of maize using reciprocal translocation. *Phytopathology* 82:225-229.
- Clará V, R. 1981. Trabajo presentado en el curso de Fitomejoramiento impartido en el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria (CENTA), 28 de Sep. al 2 de Oct. San Andrés, El Salvador, C.A. 18 p. Sin publicar.
- Doggett, H. 1972. Recurrent selection in sorghum populations. *Heredity*. 28: 9-29.
- Dogget, H. 1982. A look back at the 70's. *in*: sorghum in the eighties. Proceedings of the International Symposium on Sorghum. Volume I. November 2-7, 1981. ICRISAT, India. pp. 15-23.
- Duncan, R.R., A. Sotomayor-Ríos., P.R. Hepperly., D.T. Rosenow., F.R. Miller., J. Narro.S., G.A. Forbes, and R.A. Frederiksen. 1987. Registration of GPTM3GR(H)C4 Fusarium head blight/stalk rot resistant sorghum population. *Crop Sci.* 27: 1321-1322.
- Falconer, D.S. 1983. Introducción a la genética cuantitativa. 13ava. impresión. Trad. F. Márquez, S. Ed. CECSA, México, D.F.
- Fehr, W.R. 1987. Principles of cultivar development. Volume 1. Theory and Technique. Iowa State University. Ed. McGraw-Hill, Inc.
- Flores C, I. 1984. Quantitative genetics of nutritional and agronomic characters in related grain sorghum random-mating populations. [Abstracts]. *Dissertation Abstracts International*, -B. 44: 11, 3261B.
- Frederiksen, R.A.(ed.). 1986. Compendium of Sorghum Diseases, American Phytopathological Society. pp. 7-10.

- Frederiksen, R.A. and D.T. Rosenow. 1979. Breeding for Diseases Resistance in Sorghum. *in*: Biology and Breeding for Resistance to Arthropods and Pathogens in Agricultural Plants. Proceedings of the "International Short Course in Host Plant Resistance. July 22-August 4. Texas A&M University. College Station, Texas. pp. 137-167.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen . Instituto de Geografía. UNAM. pp. 123-131.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Austr. J. Biol. Sci.* 9: 463:493.
- Hookstra, G.H., W.M. Ross, and R.F. Mumm. 1983. Simultaneous evaluation of grain sorghum A-lines and random-mating populations with topcrosses. *Crop Sci.* 23(5): 977-981.
- House, L.R. 1982. El Sorgo. Guía para su mejoramiento. Universidad Autónoma Chapingo. Grupo Editorial Gaceta, S.A. México, D.F. 425 p.
- Kwolet, T.F., R.E. Atkins, and O.S. Smith. 1986. Comparisons of agronomic characteristics in C<sub>0</sub> and C<sub>4</sub> of IAP3BR(M) random-mating grain sorghum population. *Crop Sci.* 26(6): 1127-1131.
- Leath, S., R.P. Thakur, and K.J. Leonard. 1990. Variation in expression of monogenic resistance in corn to *Exserohilum turcicum* race 3 under different temperature and light regimes. *Phytopathology* 80: 309-313.
- Márquez S, F. 1980. Sistemas de selección combinada, familiar e individual en el mejoramiento genético del maíz (*Zea mays* L.). *Fitotecnia* No. 4: 3-83.
- Matzinger, D.F., C.C. Cockerham, and E.A. Wernsman. 1977. Single character and index mass selection with random mating in a naturally self-fertilizing species. *Proc. Internat. Confer. Quantitative Genetics.* (E. Pollack, O. Kempthorne and T.B. Bailey, eds.), Iowa State Univ. Press, 503-518.
- Maves, A.J. and R.E. Atkins. 1991. Estimates of quantitative genetic parameters in IAP2B(M) random-mating sorghum population. *Journal of the Iowa Academy of Science (JIAS).* 98(3): 139-144.
- Mettler, L.E. y T.G. Gregg. 1972. Genética de las poblaciones y evolución. 1a. edición en Español. Ed. UTEHA, México, D.F.

- Miller, F.R. 1979. The breeding of sorghum. *in* Biology and Breeding for Resistance to Arthropods and Pathogens in Agricultural Plants. Proceedings of the "International Short Course in Host Plant Resistance. July 22-August 4. Texas A&M University. College Station, Texas. pp. 128-136.
- Obliana, A.T. and M.M. El-Rouby. 1980. Recurrent mass selection for yield in two random mating populations of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Maydica* 25: 127-133.
- Otte, C.E., W.M. Ross., C.Y. Sullivan., R.L. Voigt, and F.R. Miller. 1984. Evaluation of R lines from the sorghum random-mating population NP3R. *Crop Sci.* 24: 9-12.
- Phoelman, J.M. 1981. Mejoramiento genético de las cosechas. 7a. reimp. Trad. N. Sánchez, D. Ed. LIMUSA, S.A. México, D.F. 301-328.
- Secrist, R.E. and R.E. Atkins. 1991. Comparisons of mass selection and  $S_1$  testing recurrent selection methods in sorghum. *Journal of the Iowa Academy of Science (JIAS)*. 98(3): 134-138.
- Sigulas, K.M., R.R. Jr. Hill., and J.E. Ayers. 1988. Genetic analysis of *Exserohilum turcicum* lesion expansion on corn. *Phytopathology* 78: 149-153.
- Sprague, G.F. and L.A. Tatum. 1942. General versus specific combining ability in single crosses of corn. *Jour. Amer. Soc. Agron.* 34: 923-932.
- Stansfield, D.W. 1986. Theory and problems of genetics. 2nd. ed. McGraw-Hill Book Co. 248-265.
- Williams, R.T., R.A. Frederiksen, and T.C. Girard. 1978. Manual para la identificación de las enfermedades del sorgo y mijo. Boletín de Información No. 2 del ICRISAT. 88 p.
- Wricke, G. and W.E. Weber. 1986. Quantitative Genetics and selection in Plant Breeding. Ed. Walter de Gruyter, Berlin, New York. pp. 119-123.