

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA
POSGRADO EN PROTECCIÓN VEGETAL

EFFECTO DEL NÚMERO DE GENES EN EL NIVEL DE
RESISTENCIA A LA ROYA DE LA HOJA (*Puccinia triticina* E.)
EN TRIGO (*Triticum aestivum* L.) DE TEMPORAL, EN LOS
VALLES ALTOS DE MÉXICO

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

PRESENTA:

CORTÉS FIGUEROA HERNÁN DANIEL

CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO, AGOSTO DEL 2003.



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

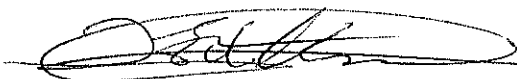


**EFFECTO DEL NÚMERO DE GENES EN EL NIVEL DE RESISTENCIA A LA
ROYA DE LA HOJA (*Puccinia triticina* E.) EN TRIGO (*Triticum aestivum* L.) DE
TEMPORAL, EN LOS VALLES ALTOS DE MÉXICO.**

Tesis realizada por **Hernán Daniel Cortés Figueroa** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobado por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

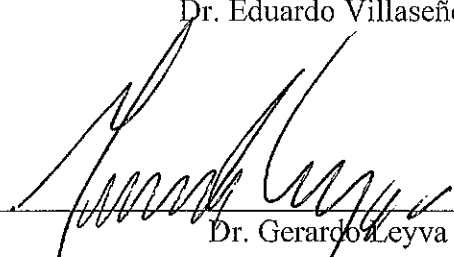
MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

DIRECTOR:



Dr. Eduardo Villaseñor Mir

ASESOR:



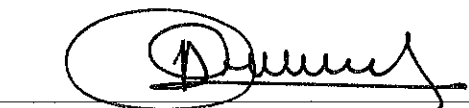
Dr. Gerardo Leyva Mir

ASESOR:



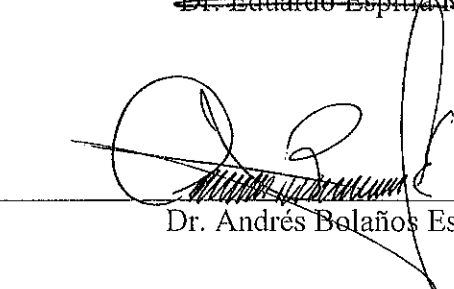
Dr. Julio Huerta Espino

ASESOR:



Dr. Eduardo Espitia Rangel

ASESOR:

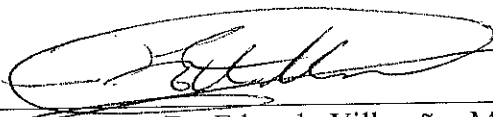


Dr. Andrés Bolaños Espinoza

**EFFECTO DEL NÚMERO DE GENES EN EL NIVEL DE RESISTENCIA A LA
ROYA DE LA HOJA (*Puccinia triticina* E.) EN TRIGO (*Triticum aestivum* L.) DE
TEMPORAL, EN LOS VALLES ALTOS DE MÉXICO.**

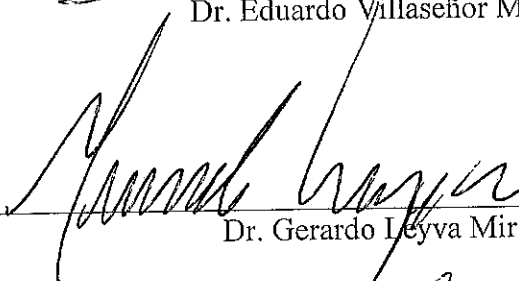
El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de **Hernán Daniel Cortés Figueroa** autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Protección Vegetal estuvo constituido por:

PRESIDENTE:



Dr. Eduardo Villaseñor Mir

ASESOR:



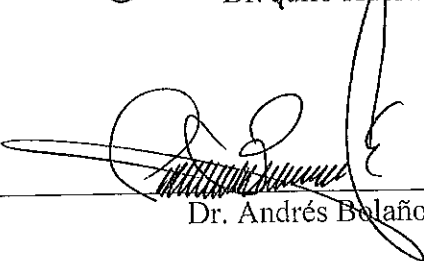
Dr. Gerardo Leyva Mir

ASESOR:



Dr. Julio Huerta Espino

ASESOR:



Dr. Andrés Bolaños Espinoza

Esta investigación fue financiada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, con el proyecto 34715-B: Efecto de sequía y las royas sobre el rendimiento en trigo de temporal y generación de tecnología.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por haberme otorgado la beca para realizar mis estudios de Maestría en Protección Vegetal

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Departamento de Parasitología Agrícola, por darme la oportunidad de estudiar la licenciatura y Maestría

Al Dr. Eduardo Villaseñor Mir y Dr. Eduardo Espitia Rangel por su amistad, sus valiosas sugerencias y correcciones en la revisión del presente trabajo

Al Dr. Gerardo Leyva Mir, Dr. Julio Huerta Espino y Dr. Andrés Bolaños Espinoza, por el tiempo dedicado en la revisión del escrito

A Gladis, Bety, Perla, Violeta, Mairiel, Hector, Basaldua y Luis Leonel, por su amistad y apoyo

A los trabajadores del CEVAMEX programa de Trigo: Adriana, Rosa María, Carmen, Flor, Mica, Carlos, Adrián, Israel, Melquíades, Manuel, Víctor, Héctor, Eliel y Carmelo por todo el apoyo para llevar a cabo este proyecto

A mis amigos, a los cuales no menciono por temor a olvidar alguno y con los cuales he compartido grandes momentos.

Daniel

DEDICATORIA

A Dios...

Por acompañarme en todo momento...sé que eres mi pastor y nada me faltara

A mis padres

Amador Cortés Pérez y Florinda Figueroa Cruz, gracias por enseñarme que todo en esta vida es posible en la medida que uno lo desee

A mis hermanas y hermanos

Ma. Del Refugio, Hermila, Reyna, Mirsa, Margarito y Pedro, por caminar a mi lado

A Chevin y Andy

En cada reto siempre llegaremos a la meta y DIOS siempre proveerá.....las quiero

A Mis sobrinos

Gaby, Lupita, Bere, Yeni, Marcos, Carlos, Choche, Edgar, Chava, Monse, Joni, Tere, Josi, Axel y Diego, no olviden que son parte de cada proyecto

A José Manuel, Patricia, Mariela y José

Siempre es bueno saber que hay alguien que piensa en mi

Hernán

DATOS BIOGRAFICOS

El autor del presente trabajo, originario del estado de Oaxaca, realizó sus estudios de nivel medio superior en el Centro de Bachillerato Tecnológico industrial y de servicios 183 de Miahuatlán de Porfirio Días, Oaxaca. Ingreso a la Universidad Autónoma Chapingo en el año de 1994 donde curso la carrera de Ingeniero Agrónomo Especialista en Parasitología Agrícola. Su desempeño laboral lo inicio en el Instituto Nacional de Geografía e Informática como Responsable del Área Geográfica Valles Centrales. En agosto del 2000 ingresa al Programa de Maestría en Protección Vegetal, del Departamento de Parasitología Agrícola.

CONTENIDO

	PAG.
INDICE DE CUADROS.....	iv
INDICE DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN (ABSTRACT).....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Zonas productoras de trigo de temporal en México.....	4
2.2. Roya de la hoja (<i>Puccinia triticina</i> Ericks).....	4
2.2.1. Importancia.....	4
2.2.2. Distribución.....	5
2.2.3. Sintomatología.....	6
2.2.4. Biología y epidemiología.....	6
2.2.5. Hospedantes.....	7
2.2.6. Daños.....	8
2.2.7. Razas fisiológicas.....	8
2.3. Métodos de control de la roya de la hoja.....	9
2.3.1. Control genético.....	9
2.3.2. Control químico.....	10
2.3.3. Control cultural.....	11
2.3.4. Manejo integrado.....	11
2.4. Resistencia.....	12
2.4.1. Tipos de resistencia genética.....	13
2.4.1.1. Resistencia Vertical o Específica.....	13
2.4.1.2. Resistencia Horizontal o General.....	14
2.5. Sistemas de selección en trigo.....	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17

3.1. Ubicación de los experimentos.....	17
3.1.1. Tecamac.....	17
3.1.2. Zotoluca.....	17
3.1.3. Chapingo.....	18
3.1.4. Coatepec.....	18
3.1.5. Apan.....	18
3.2. Material vegetal evaluado.....	19
3.3. Diseño experimental.....	21
3.4. Parcela y unidad experimental.....	21
3.5. Variables en estudio.....	21
3.5.1. Variables directas.....	22
3.5.2. Variables indirectas.....	22
3.6. Manejo agronómico de los experimentos.....	23
3.7. Inoculación.....	24
3.8. Análisis de la información.....	24
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
4.1. Análisis general de las variables.....	25
4.2. Comparación de medias general.....	28
4.2.1. Comparación de medias entre localidades.....	28
4.2.2. Comparación de medias entre tratamientos.....	29
4.2.3. Comparación de medias entre genotipos.....	31
4.2.4. Pérdidas por roya de la hoja entre genotipos con y sin protección de fungicida.....	34
4.3. Pérdidas en el rendimiento en función de los genes de resistencia.....	39
4.3.1. Efecto del gen <i>Lr34</i>	39
4.3.2. Efecto del gen <i>Lr34</i> más un gen aditivo.....	41
4.3.3. Efecto del gen <i>Lr34</i> más dos genes aditivos.....	42

4.3.4. Efecto del gen <i>Lr34</i> más tres genes aditivos.....	43
4.3.5. Efecto del gen <i>Lr34</i> más cuatro genes aditivos.....	44
4.3.6. Efecto de uno, dos y tres genes aditivos.....	45
4.3.7. Efecto de cuatro genes aditivos en ausencia del gen <i>Lr34</i>	46
4.4. Análisis para la localidad con mayor severidad de la roya de la hoja.	47
4.4.1. Chapingo.....	47
4.4.2. Análisis general de las variables.....	48
4.4.3. Comparación de medias entre tratamientos.....	49
4.4.4. Pérdidas por roya de la hoja en Chapingo entre genotipos con y sin la protección de fungicida.....	50
V. CONCLUSIONES.....	54
VI. LITERATURA CONSULTADA.....	55
VII. APÉNDICE.....	67

INDICE DE CUADROS

CUADRO		PAG.
1	Genotipos evaluados para cuantificar el porcentaje de pérdidas por roya de la hoja. P-V/2001.....	19
2	Genes de resistencia efectivos a roya de la hoja presentes en los genotipos para cuantificar el porcentaje de pérdidas. P-V/2001.....	20
3	Cuadrados medios del análisis de varianza general para los 18 genotipos de trigo evaluados con y sin la aplicación de fungicida en cinco localidades de los Valles Altos. P-V/2001.....	27
4	Comparación de medias entre localidades para las diferentes variables en estudio en la evaluación de 18 genotipos con y sin fungicida. P-V/2001.....	29
5	Comparación de medias entre tratamientos para las diferentes variables en estudio en la evaluación de 18 genotipos con y sin fungicida. P-V/2001.....	31
6	Comparación de medias general entre genotipos para las variables en estudio con y sin fungicida en las cinco localidades. P-V/2001.....	33
7	Promedio general en rendimiento de los genotipos en los tratamientos con y sin fungicida y sus porcentajes de pérdidas. P-V/2001.....	34
8	Cuadrados medios del análisis de varianza de 18 genotipos de trigo evaluados con y sin fungicida en Chapingo, México. P-V/2001.....	48
9	Comparación de medias entre tratamientos para las variables directas en Chapingo, México. P-V/2001.....	49
10	Promedio general del rendimiento en los genotipos en tratamientos con y sin fungicida y porcentajes de pérdidas en Chapingo, México. P-V/2001.....	51

11	Cuadrados medios del análisis de varianza de los 18 genotipos de trigo evaluados con y sin fungicida en Tecamac, México. P-V/2001....	68
12	Comparación de medias entre tratamientos para las variables directas en Tecamac, México. P-V/2001.....	68
13	Comparación de promedios de los genotipos para las variables directas con y sin fungicida en Tecamac, México. P-V/2001.....	69
14	Cuadrados medios del análisis de varianza de 18 genotipos de trigo evaluados con y sin fungicida en Zotoluca, Tlaxcala, México. P-V/2001.....	70
15	Comparación de medias entre tratamientos para las variables directas en Zotoluca, Tlaxcala, México. P-V/2001.....	70
16	Comparación de promedios de los genotipos para las variables directas con y sin fungicida en Zotoluca, Tlaxcala, México. P-V/2001	71
17	Cuadrados medios del análisis de varianza de 18 genotipos de trigo evaluados con y sin fungicida en Coatepec, México. P-V/2001.....	72
18	Comparación de medidas entre tratamientos para las variables directas con y sin fungicida en Coatepec, México. P-V/2001.....	72
19	Comparación de promedios de los genotipos para las variables directas con y sin fungicida en Coatepec, México. P-V/2001.....	73
20	Cuadrados medios del análisis de varianza de 18 genotipos de trigo evaluados con y sin fungicida en Apan, Hidalgo. P-V/2001.....	74
21	Comparación de medias entre tratamientos para las variables directas con y sin fungicida en Apan, Hidalgo. P-V/2001.....	74
22	Comparación de promedios de los genotipos para las variables directas con y sin fungicida en Tecamac, México. P-V/2001.....	75

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	PAG.
1 Porcentaje de reducción de los días a madurez de los 18 genotipos evaluados en las cinco localidades. P-V/2001.....	35
2 Porcentaje de daño máximo de área foliar de los 18 genotipos evaluados en las cinco localidades. P-V/2001.....	36
3 Porcentaje de pérdidas en rendimiento de los 18 genotipos evaluados en las cinco localidades. P-V/2001.....	37
4 Porcentaje de pérdidas en el peso de mil granos de los 18 genotipos evaluados en las cinco localidades. P-V/2001.....	38
5 Porcentaje de pérdidas en rendimiento y daño máximo de área foliar en presencia del gen <i>Lr34</i> (Jupateco 73R) comparado con Jupateco 73S.....	40
6 Porcentaje de pérdidas en rendimiento y daño máximo de área foliar en presencia del en <i>Lr34</i> + 1 gen aditivo.....	41
7 Porcentaje de pérdidas en rendimiento y daño máximo de área foliar en presencia del gen <i>Lr34</i> + 2 genes aditivos.....	43
8 Porcentaje de pérdidas en rendimiento y daño máximo de área foliar en presencia del gen <i>Lr34</i> + 3 genes aditivos.....	44
9 Porcentaje de pérdidas en rendimiento y daño máximo de área foliar en presencia del gen <i>Lr34</i> + 4 genes aditivos.....	45
10 Porcentaje de pérdidas en rendimiento y daño máximo de área foliar en presencia de 1, 2 y 3 genes aditivos.....	46
11 Porcentaje de pérdidas en rendimiento y daño máximo de área foliar en presencia de 4 genes aditivos	46
12 Porcentaje de daño máximo de área foliar en las localidades evaluadas. P-V/2001.....	47
13 Porcentaje de pérdidas promedio para la variable días a madurez.....	52

14	Porcentaje de pérdidas promedio para la variable daño máximo de área foliar.....	52
15	Porcentaje de pérdidas promedio para la variable rendimiento de grano....	53

EFFECTO DEL NÚMERO DE GENES EN EL NIVEL DE RESISTENCIA A LA ROYA DE LA HOJA (*Puccinia triticina* E.) EN TRIGO (*Triticum aestivum* L.) DE TEMPORAL EN LOS VALLES ALTOS DE MÉXICO.

EFFECT OF THE NUMBER OF GENES ON THE LEVEL OF RESISTANCE TO LEAF RUST (*Puccinia triticina* E.) OF RAINFED WHEAT (*Triticum aestivum* L.) IN THE HIGH VALLEYS OF MEXICO

Hernán Daniel Cortés Figueroa¹ y Héctor Eduardo Villaseñor Mir²

RESUMEN

Se evaluaron 18 genotipos de trigo: Baviacora M92, Jupateco 73 S, Jupateco 73R, Nacozari M76, Sonoita 81, Trap, Mor/*2Kauz, Chapio, Esmeralda M86, Pavon F86, Apache M81, Amadina, Juchi F2000, Batán F96, Tukurú, Kambara, Rebeca F2000 y Attila, en cinco localidades en los Valles Altos de México, con el objeto de determinar el efecto de los genes de resistencia y cuantificar pérdidas causadas por la roya de la hoja en Trigo (*P. triticina*). Utilizando un diseño experimental en bloques completos al azar, con tres repeticiones en un arreglo de parcelas divididas; donde la parcela grande era el tratamiento con y sin fungicida y la parcela chica los genotipos. Para asegurar la infección del hongo se realizaron inoculaciones con la raza MCJSP en las parcelas con incidencia y en las parcelas sanas se aplicó el fungicida tebuconazole con el objeto de mantenerlas limpias. Se detectaron diferencias altamente significativas entre las variables días a maduración, daño máximo de área foliar, rendimiento y biomasa y significativas para peso de 1000 granos y grano por metro cuadrado, mientras que para floración, altura de planta, índice de cosecha, granos por espiga y espiguillas por espiga no se encontraron diferencias. En la interacción localidad por genotipo hubo diferencias altamente significativas en todas las variables en estudio. Al comparar los genotipos Jupateco 73R que presenta el gen *Lr34* con el genotipo 73S que no posee dicho gen, se observaron diferencias significativas entre 42 y 84 % de pérdidas. El componente de rendimiento que más se ve afectado en presencia de la roya es el peso de grano. El gen *Lr34* genera resistencia al ataque de *P. triticina*, a medida que el número de genes de resistencia en los genotipos se acumulan se presenta un menor ataque de la roya de la hoja sin haber un efecto negativo en el rendimiento.

Palabras clave: *Puccinia triticina*, genes de resistencia, pérdidas, rendimiento.

ABSTRACT

Eighteen bread wheat genotypes were evaluated: Baviacora M92, Jupateco F73S, Jupateco F73R, Nacozari M76, Sonoita F81, Trap, Mor/*Kauz, Chapio, Esmeralda M86, Pavon F76, Apache M81, Amadina, Juchi F2000, Batán F96, Tukurú, Kambara, Rebeca F2000 and Attila at five sites in the high valleys of Mexico. The objective was to determine the effects of resistant genes and to measure the yield losses caused by wheat leaf rust (*P. triticina*). A completely randomized block experimental design with three replicates and two factors arranged in split plots was used. In the split plot arrangement the big plot was assigned the fungicide or rust treatment, whereas the small plots were assigned to the genotypes. To guarantee that there would be a good amount of rust infection, artificial inoculations with MCJSP were done on the rusted plots, whereas the other plots were kept healthy by the application of tebuconazole fungicide. Highly significant differences were found among these variables: days to ripen, maximum leaf area damaged, yield and biomass, and significant differences were found for the variables of grain weight and number of grains per square meter. No significant differences were found heading, height, harvest index grains/spike and spikelets/spike. At the interaction site by genotype, there were highly significant differences for all variables. When comparing Jupateco 73R carrying *Lr34* with non-*Lr34* Jupateco 73S differences from 42 to 84% losses were determined and the differences were statistically significant. Grain weight is the component most affected by rust. *Lr34* protects the plant against rust and in addition, as more additive resistance genes are accumulated, the level of resistance increases and the level of leaf rust disease severity decreases without negatively affecting in the yield potential.

Key words: *Puccinia triticina*, resistance genes, losses, yield.

1. Tesista
2. Director

I. INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es el cultivo más importante a nivel mundial, ocupa el primer lugar en superficie y producción, su grano aporta la mayor parte de los carbohidratos en la alimentación humana (Stubbs *et al.*, 1986). Se siembra en alrededor de 75 países, figurando entre ellos México; su producción mundial es alrededor de 579 millones de toneladas, destacando 25 países por el volumen de producción, lo que les permite cubrir su demanda interna y además exportar poco más de 90 millones de toneladas (Villaseñor, 2000a).

En la República Mexicana los estados productores más importantes son bajo el sistema de riego son: Sonora, Sinaloa, Guanajuato, Baja California Norte y Chihuahua, mientras que bajo temporal, destaca la región de los Valles Altos de México (Tlaxcala, Hidalgo, Puebla y Estado de México), en donde se llega a sembrar cerca de 180, 000 hectáreas (Ayon, 1989; INEGI, 1995).

La producción de trigo se ve afectada por una serie de factores abióticos (temperatura, humedad relativa, heladas, etc.) y bióticos (plagas y enfermedades), figurando dentro de estos últimos las enfermedades por su agresividad y daños severos en los rendimientos. Dentro de las enfermedades, las royas o “Chahuixtles” destacan como el grupo de hongos que más afectan la producción, ya que prácticamente se les encuentran distribuidas en todas las áreas trigueras en el mundo (Moreno y Álvarez, 1984).

Las royas que atacan al trigo son: roya del tallo (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici* Pers.), roya lineal o amarilla (*Puccinia striiformis* West) y la roya de la hoja (*Puccinia triticina* Ericks); en los Valles altos se encuentran presentes las tres, pero la roya de la hoja continúa siendo la más común, en algunas áreas ha causado epidemias y generado pérdidas que pueden ir desde 10 a 100%, dependiendo del grado de susceptibilidad de la variedad (Anónimo, 1989). La forma más económica de combatir las royas es mediante la obtención de variedades genéticamente resistentes al ataque de estos patógenos. Sin embargo, la obtención de variedades resistentes no ha sido una solución permanente; ya que las poblaciones del hongo cambian continuamente al formar nuevas razas fisiológicas, que pueden atacar las variedades que fueron originalmente resistentes (CIMMYT, 1977).

Considerando la importancia que la roya de la hoja ha adquirido en los últimos años en México, se llevó a cabo la presente investigación con los objetivos de:

1. Determinar el efecto de la roya de la hoja en genotipos de trigo bajo condiciones de temporal y cuantificar las pérdidas sobre el rendimiento.
2. Determinar el efecto de los genes de resistencia sobre el control de la roya de la hoja.

Hipótesis

- La incidencia de *Puccinia triticina* produce pérdidas en el rendimiento y en algunos de sus componentes del trigo.
- A mayor acumulación de genes de resistencia permite tener mejor control sobre la roya de la hoja.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Zonas productoras de trigo de temporal en México

La producción de trigo de temporal en México se realiza en pequeñas áreas aisladas y contrastadas hasta en 15 estados el país, que se ubican desde el Sureste (Mixteca Oaxaqueña) hasta el Norte Centro (Zacatecas y Durango). Las características climatológicas de las mismas son muy variables, incluso dentro de una misma entidad, y pueden variar desde climas áridos hasta templado-húmedos. Las diferentes regiones productoras se ubican en altitudes por arriba de los 1700 msnm con tendencia hacia los 2100-2400 msnm, registrándose algunas áreas que se localizan cerca de los 3000 msnm como es el caso de las regiones de Juchitepec y Río frío en el estado de México (Villaseñor y Espitia, 2000).

2.2. Roya de la hoja (*Puccinia triticina* Ericks)

2.2.1. Importancia

Es una enfermedad difundida por todo el mundo, en México es un problema potencial en los Valles Altos de Puebla, México, Hidalgo y Tlaxcala (Moreno y Álvarez, 1984) . Aunque esta enfermedad rara vez causa pérdidas del 100 %, los ataques severos en las primeras etapas de desarrollo del cultivo, pueden ocasionar reducciones en el rendimiento de grano hasta del 70 %; mientras que cuando el grano se encuentra en estado masoso, se reduce el rendimiento en un 10 % (Singh y Huerta, 1995).

La roya de la hoja (*P. triticina*) ataca trigo y triticale principalmente. Las reducciones en el rendimiento en estos cultivos son mayores conforme la planta es atacada en etapas más tempranas de su desarrollo, produciendo hasta su muerte si la infección aparece durante el estado de amacollamiento (SARH, 1992). Cuando las condiciones ambientales se presentan con lluvias abundantes y días nublados en un año determinado, pueden desarrollarse epifitias severas en etapas tempranas de crecimiento, como ejemplo se tiene la ocurrida en el Valle del Yaqui en Sonora durante el ciclo 1976-1977 afectando a la variedad Jupateco 73, que se sembró en un 75% de la superficie de la región (Dubin y Torres, 1981).

2.2.2. Distribución

La roya de la hoja se encuentra en todos los estados productores de trigo de temporal en México, incluso en las zonas secas se presenta cuando las condiciones de temperatura y humedad son propicias en períodos de tiempo corto. Si se siembra una variedad susceptible, la roya de la hoja se hace presente, llegando a alcanzar niveles epifíticos severos; la intensidad de la incidencia dependerá de las condiciones climatológicas y del número de genes que esa variedad posee para hacer frente a las diferentes razas fisiológicas o del nivel de resistencia (Huerta y Singh, 2000).

Teliz (1988) menciona que la roya de la hoja se encuentra prácticamente cada año en las áreas de Río Bravo, Tampico, Tamps; Zaragoza, Coah; Cuahutémoc, Chih; Altos de Jalisco, Estado de México, Tlaxcala, Celaya, Gto Sierra Tarasca, Mich; Sinaloa y el sur de Sonora, mientras que Huerta y Singh (2000) indican que prácticamente esta

enfermedad se encuentra en todas las regiones del país en donde se cultive trigo de riego o temporal.

2.2.3. Sintomatología

En el trigo los síntomas y signos son más evidentes cuando las pústulas o uredinias aparecen dispersas, redondas u oblongas y hasta de 2 mm de longitud; su coloración es pardo anaranjada que con el tiempo se hace más oscura; las pústulas aparecen principalmente en las láminas foliares, en torno a los puntos primarios de infección, aparecen anillos de uredias y telias negras; éstas últimas se desarrollan normalmente en filas sobre las vainas foliares en forma de soros negros pequeños que permanecen cubiertos largo tiempo por la epidermis. Con la aparición de las uredias y telias, las hojas se van secando y las plantas llegan a morir (Oregon State University Extensión, 2000).

2.2.4. Biología y epidemiología

El hongo requiere períodos de rocío de tres horas o menos y temperaturas de 15 a 25 °C para causar infección; se provoca mayor número de infecciones cuando el período de rocío es más prolongado. Con temperaturas más bajas, de 15 °C, ese período de tiempo debe ser aún más extenso (Wiesse, 1986).

El hongo sobrevive de un ciclo a otro en forma de micelio o de uredosporas en cereales de invierno. La dispersión de las esporas se favorece en días secos con vientos, las noches frescas con rocío favorecen su germinación y penetración (Smith *et al.*, 1992).

La mayoría de las epifitias graves se presentan en lugares donde se cultivan trigos de invierno y primavera o se siembran trigos durante el invierno o primavera-verano; cuando los uredinios y/o las infecciones latentes sobreviven al invierno en cierto nivel de umbral en el trigo, o cuando el trigo sembrado en primavera recibe tempranamente inóculo exógeno, por lo general antes del espigamiento. Se suelen producir epifitias y pérdidas graves cuando la hoja bandera se infecta antes de la anthesis (Chester, 1946, citado por Roelfs, *et al.*, 1992).

2.2.5. Hospedantes

El hospedante primario de la roya de la hoja del trigo es *Triticum aestivum* L, aunque se han detectado razas del hongo que prefieren los trigos duros y los triticales (Singh, 1991; Huerta y Roelfs, 1988). Este hongo tiene como hospedante alternativo a *Thalictrum speciosissimum* de la familia de las Ranunculaceas en donde sobrevive mediante su fase sexual (Aknister *et al.*, 1997); posteriormente, cuando las condiciones climatológicas son favorables para el crecimiento del trigo, la roya de la hoja ataca reproduciéndose asexualmente.

Las plantas de *Thalictrum* sp. (Yamada *et al.*, 1973) albergan las formas asexuales de las royas y son fuente de nuevas formas de virulencia y del inóculo temprano de primavera (aeciosporas). A veces se forman nuevas razas de royas, independientemente de los hospedantes alternos, por medio de mutaciones y de mecanismos parasexuales en el estado uredial. Con infecciones mezcladas, núcleos o caracteres genéticos pueden

intercambiarse entre razas por fusión de hifas (SARH, 1992). La fase asexual no ocurre en México (Huerta y Singh, 2000).

2.2.6. Daños

En ataques severos la altura disminuye y la cantidad de raíces de la planta. Esta enfermedad en una variedad susceptible causa pérdidas desde 42.5 al 84 %, si la infección ocurre después de la etapa de embuche. La infección no solo afecta el rendimiento sino que también causa efectos sobre la calidad del grano y en ocasiones genera una pérdida total del cultivo (Singh y Huerta, 1995).

En variedades susceptibles las pérdidas van desde un chupado ligero de grano, hasta una reducción fuerte en el número, peso y tamaño del grano (Romero, 1988; Agrios, 1978). Al estimarse las pérdidas causadas en rendimiento por la roya de la hoja, de acuerdo con el nivel de resistencia/susceptibilidad que tienen las variedades, éstas pueden ser del 4% en variedades resistentes, 60% en variedades como Baviacora M92, del 70% en el caso de Siete Cerros T66, de 100 % en el caso de Jupateco 73S y sólo un 40% en Temporalera M87 (Huerta y Singh, 2000).

2.2.7. Razas fisiológicas

La identificación de razas fisiológicas se estableció en forma regular en 1976, con muestras colectadas en el Noroeste de México. De 21 colectas se realizaron 44 aislamientos monopostulares y se obtuvieron 32 razas, indicando la diversidad existente

en el Valle de Yaqui, Sonora. Las razas más comunes fueron MBD y TBD mientras que la BBD sólo se identificó una vez. La raza TBJ se encontró en la mesa central durante ese mismo año (CIMMYT, 1976). Villaseñor-Espin (2001) en un análisis de la virulencia de la roya de la hoja en los Valles Altos de México, identificó 13 razas de *Puccinia triticina*, las más comunes fueron MCJ/SP con 27 % de frecuencia y la raza MBD/QM con 24 %; por otra parte se identificaron cinco nuevas razas que fueron: MCJ/QN, MBJ/QL, M(B)J/QM, MBJ/JM y MBJ/GB.

2.3. Métodos de control de la roya de la hoja

De los diversos métodos para el control de *P. triticina*, los más utilizados son el genético, el químico y en menor proporción el cultural.

2.3.1. Control Genético

Es el principal mecanismo para controlar a la roya de la hoja, ya que mediante el uso de variedades resistentes es como se ha logrado reducir los daños y frenar su diseminación (Jhonson, 1981). Algunas variedades han mantenido cierto grado de resistencia durante muchos años como es el caso de Frontana (Roelfs, 1988), mientras que en México han destacado Zacatecas 76, Salamanca 75 y Rayón 89 (Huerta y Singh, 2000).

En muchos casos las variedades han perdido su resistencia debido a mutaciones o recombinaciones de los genes o factores de virulencia existentes los cuales superan la resistencia del hospedante. En ciertos casos, el protocolo de detección de la enfermedad

no es el adecuado para identificar y seleccionar las líneas de trigos resistentes. El fracaso de la resistencia a corto plazo ha llevado a la idea de que la resistencia presenta cierta vulnerabilidad (Villeda, 1998).

2.3.2. Control Químico

Originalmente el control de la roya se llevó a cabo mediante el uso de productos químicos; Bailey y Greaney (1928) señalan el uso de azufre en polvo para el control de la roya de la hoja y del tallo. Livingston (1953) propone el uso de sulfanato de calcio contra ellas. Por otra parte, Forsyth y Peterson (1958) y Joshi, *et al.*, (1967) reportan el uso de Dithane Z-78 (Zineb) contra las mismas royas, mientras que Davis *et al.* (1960) reportan el uso de antibióticos derivados del hongo *Streptomyces* spp., para el control de las royas de los cereales. Durante la epifitía que se presentó en Sonora durante el ciclo agrícola de 1976-1977, quedó probada la efectividad de los fungicidas sistémicos triadimefón (Bayleton) y butrizol (Indar) contra la roya de la hoja del trigo (Ríos y Cerecer, 1977).

El trigo responde favorablemente a la aplicación de fungicidas, por lo tanto si se siembran variedades susceptibles, se recomienda aplicar 0.5 l por ha de Tebuconazole, Epoxiconazole o Cyproconazole. No se recomienda usar Propiconazole, ya que este producto no logra controlar eficientemente la enfermedad (Villeda, 1998). Cuando la aplicación se hace durante la época de lluvias, se recomienda el uso de adherentes y boquillas que distribuyan el producto con una gota más fina (Huerta y Singh, 2000).

2.3.3. Control Cultural

La siembra en fechas óptimas y el manejo adecuado de los riegos evitan que el cultivo se exponga al ataque del hongo, cuando las condiciones son más propicias.

2.3.4. Manejo integrado

El énfasis de este control está en anticiparse a la enfermedad o plaga e impedirles que alcancen niveles perjudiciales económicamente (Prinstrup-Andersen, 2000). Los principales componentes de que se integra este manejo son:

Prácticas culturales: tales como barbechos, fechas de siembra, manejo ecológico de cultivos, reducir el tamaño del campo, rotación de cultivos, buen control mecánico de las malezas, mejor manejo de los residuos de cosecha, uso eficiente del agua, monitoreo y supervisión de la enfermedad, son de suma importancia para reducir la incidencia de la roya.

Rotación de cultivos: rotar cultivos (i.e. trigo, cártamo, cebada y leguminosas) para reducir el número de plantas voluntarias que son fuente de inóculo para el siguiente ciclo, además no se deben cultivar en la misma zona trigos sembrados en otoño y en primavera, al menos que obtengan niveles de resistencia altos (Zadoks y Bouwman, 1985).

Uso de semillas certificadas o tratadas: usar semilla limpia o semillas que han sido tratadas previamente con un fungicida adecuado para reducir la posibilidad de que se desarrolle el inoculo del hongo en las etapas tempranas del cultivo del trigo.

Variedades resistentes: las guías de cultivo y la descripción de las variedades proveen las cualidades de los cultivos, incluyendo su grado de resistencia a determinadas enfermedades.

Fungicidas foliares: aplicados en el momento adecuado, de acuerdo con las indicaciones en la etiqueta, pueden controlar las enfermedades de la hoja en cereales. Para máxima efectividad los fungicidas foliares se pueden aplicar como preventivos (cuando los niveles de infección sean bajos). Las mejores condiciones para la aplicación son humedad del 60%, aire moderado y temperatura alrededor de 10 al 25 °C.

2.4. Resistencia

El objetivo de mejorar la resistencia a enfermedades es proteger la biomasa y el rendimiento del cultivo (Simmonds, 1988), en las plantas se presenta un grado de resistencia diferente a la del patógeno, el cual puede ser desde la inmunidad hasta la susceptibilidad; también los patógenos pueden tener distintos grados de virulencia, de tal forma que la intensidad del ataque depende de ambos factores. La enfermedad es más severa cuando el hospedante es más susceptible y viceversa, pero no sólo estos dos factores son determinantes ya que las condiciones ambientales (humedad y temperatura) juegan un papel más importante para el desarrollo de la misma (Sarasola, 1969).

La expresión de la resistencia es el resultado de la relación hospedante-patógeno-ambiente (Eskes, 1983).

2.4.1. Tipos de resistencia genética

La resistencia que sólo utiliza el potencial genético de la planta fue clasificada por Van der Plank (1963) en dos tipos: vertical y horizontal, a los que Caldwell (1968) denominó específica y general, respectivamente.

2.4.1.1. Resistencia Vertical o Específica

Van der Plank (1963) y Ellingboe (1976), definen a la resistencia específica como la relación efectiva a alto nivel contra una o algunas razas de algún patógeno, e inefectiva contra todas las razas del mismo patógeno. Su acción es la de no permitir la infección en el hospedante y si ésta llegara a presentarse, que el patógeno no crezca ni pueda desarrollarse.

Se detecta fácilmente con patotipos específicos o razas del patógeno y es controlada por genes de efectos mayores (Roelfs, *et al.*, 1992). Comúnmente se presentan en estado de plántula los genes mayores que son vulnerables a la plasticidad del patógeno y su longevidad puede oscilar de rápida vulnerabilidad a relativa durabilidad (Singh, *et al.* 2001).

Se dice que es monogénica u oligogénica, y es el tipo de resistencia más utilizado en mejoramiento vegetal, específicamente contra los patógenos obligados, ya que sus efectos son más notables. Su defecto consiste en que debido a su rango limitado de acción, muchas variedades resistentes han sucumbido al ataque de nuevas razas del patógeno (Niederhauser *et al*, 1954)

La resistencia vertical es la que esta determinada por un solo o unos pocos genes mayores en la planta y para los cuales el hongo tiene genes que los acoplan y los nulifican (genes acoplantes); este tipo de resistencia es llamada gen a gen y esta característica la vuelve poco durable (Robinson, 1987).

2.4.1.2. Resistencia Horizontal o General

Es aquella que no resulta de una relación gene a gene, y es consecuencia de la acción e interacción de muchos y diferentes mecanismos de resistencia; es cuantitativa en sus efectos y herencia (Romero, 1988). La resistencia horizontal es controlada por diversos genes o genes menores, donde cada uno de ellos hace una pequeña contribución a la resistencia total. La resistencia horizontal es más estable y durable, pues es menos probable que el parásito evolucione modificando varios genes acoplantes que puedan nulificar a los del cultivo (Robinson, 1996).

La selección de resistencia horizontal es lenta y no llega a ser completa (Dent, 1991); pero aunque no siempre alcanza un alto nivel de resistencia, la meta debe ser la obtención del mayor grado posible (Painter, 1958). Singh, *et al.*,(2000) sin embargo,

indica que es posible alcanzar casi la inmunidad a la roya de la hoja y roya amarilla cuando se logra conjuntar de 3 a 4 genes aditivos de efectos menores para el caso de roya de la hoja y de 4 a 5 para el caso de la roya amarilla.

A diferencia de los genes mayores, en los cuales los fenotipos pueden ser ubicados dentro de clases discretas, los niveles de resistencia entre individuos con herencia de varios genes difieren y muestran variación continua debido a que la herencia poligénica es continua (Panda y Khush, 1995). En el caso de la roya de la hoja existen genes de resistencia no específica que tienen un efecto mayor como es el caso de *Lr34* y *Lr46*; así como en el caso de la roya amarilla como *Yr18*, 29 y 30, existiendo otros genes de efectos más pequeños que los anteriores, en el caso de trigo en México se han identificado 12 (Singh, *et al.*, 2003).

En la resistencia horizontal o cuantitativa, muchos genes con efectos pequeños y aproximadamente iguales entre si gobiernan el carácter y su expresión está fuertemente influenciada por el ambiente; la heredabilidad de estos componentes genéticos es más baja que en la resistencia monogénica, a pesar de esa complejidad. Los genes de resistencia mencionado anteriormente han mostrado estabilidad de ambientes donde las royas son el factor limitante de la producción de trigo (Singh, *et al.*, 1999).

2.5. Sistemas de selección en trigo

La selección ha sido uno de los procesos más antiguos de mejoramiento de plantas y se entiende como un proceso natural o artificial, mediante el cual se separan plantas individuales o grupos de plantas. El objetivo de la selección es escoger los mejores individuos para usarlos como progenitores de la siguiente generación, donde la presencia de los genes no va a ser la misma de la población original (Flores, 2001).

La selección es muy importante para obtener variedades de trigo resistentes a roya de la hoja. Existen diferentes sistemas de esquemas de selección, en cada uno generalmente se especifican diferentes unidades de selección, que dependiendo de su estructura genética, construyen durante su ejecución a los métodos de selección (Benítez, 2000).

El método de selección que más se emplea para el caso del trigo es la selección masal, método mediante el cual se seleccionan plantas similares en apariencia (fenotípica) de un lote de amplia base genética, la semilla cosechada de las plantas seleccionadas se mezclan y ésta será sembrada en el siguiente ciclo, dejando un compuesto balanceado de la semilla seleccionada como reserva (Flores, 2001).

Otros métodos dependiendo de las unidades de selección son: la selección individual si se trata de individuos; si son familias, el método que se genera es el de la selección familiar; y si las unidades de selección son una combinación de familias e individuos dentro de familias, el método será el de la selección combinada y/o pedigrí (Benítez, 2000).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación de los experimentos

3.1.1. Tecamac

Se encuentra en el Estado de México, en el municipio de Tecamac; su ubicación geográfica es: 19° 41' de latitud norte, 98° 54' longitud oeste, a una altitud de 2294 msnm. Con un tipo de clima BSkw (w) (i') g, una precipitación media anual de 563.3 mm, su temperatura media anual es de 14.9 ° C, una temperatura media máxima de 17.3 ° C y media mínima de 11.8 ° C (García, 1988).

3.1.2. Zotoluca

Se encuentra en el estado de Tlaxcala, en el municipio de Calpulalpan, su ubicación geográfica es: 19 ° 35' latitud norte y 98° 34' longitud oeste, a una altitud 2583 msnm. Con un tipo de clima Cb (wl) (w) (i') gw", una precipitación media anual de 589 mm, su temperatura media anual de 13.4 °C, una temperatura máxima de 16.2° C y media mínima de 10.3° C (García, 1988).

3.1.3. Chapingo

Se encuentra en el municipio de Texcoco, en el Estado de México, su ubicación geográfica es: 19° 29' de latitud norte, 98° 53' longitud oeste, a una altitud de 2250 msnm. Con un tipo de clima Cb (wo) (w) (i') g, una precipitación media anual de 636.5 mm, su temperatura media anual es de 15.2 ° C, una temperatura media máxima de 17.9 ° C y media mínima de 11.8 ° C (García, 1988).

3.1.4. Coatepec

En el Estado de México se encuentra el municipio de San Vicente Chicoloapán, donde se localiza la localidad de Coatepec; su ubicación geográfica es: 19° 19' latitud norte y 98° 53' longitud oeste, a una altitud 2320 msnm, con una precipitación media anual de 660 mm, su temperatura media anual de 15.1° C, una temperatura máxima de 33° C y mínima de -8° C (García, 1988).

3.1.5. Apan

Se encuentra en el estado de Hidalgo, su ubicación geográfica es: 19 ° 43' latitud norte y 98° 27' longitud oeste, a una altitud 2501 msnm. Con un clima Cb (wl) (i')g con una precipitación media anual de 628.9 mm, su temperatura media anual de 14.5 °C, con una temperatura media máxima de 17.3° C y media mínima de 10.7° C (García, 1988).

3.2. Material vegetal evaluado

Se evaluaron 18 genotipos de trigo en cinco localidades de temporal en los Valles Altos de México para realizar estudios genéticos y determinar pérdidas por roya de la hoja (*P. triticina*) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Genotipos evaluados para cuantificar el porcentaje de pérdidas por roya de la hoja. P-V/2001.

Genotipos	Genealogía
Baviacora M92	BOW/NAC//VEE/3/BJY/COC
Jupateco 73S	II12300//LR64/8156/3/NOR
Jupateco 73R	II12300//LR64/8156/3/NOR
Nacozari M76	TZPP/PL//7C
Sonoita 81	TRM//KAL/BB
Trap	JUP/4/7C/PATOB/3/LR64/INIA66//INIA66/BB/5/ANA
Mor/*2Kauz	MOROCCO/*2KAUZ
Chapio	TONICHI/YACO//KAUZ/TRAP//KAUZ
Esmeralda M86	BUC/BJY
Pavon F76	VCM//CNO/7C/3/KAL/BB
Apache M81	PJ62/GB55/3/II12350/ON//RQ/4/SF2
Amadina	BOW/CROW/BUC/PVN
Juchi F2000	KITE/BOW//ROMOGA
Batán F96	CIANO67/MFD//MONCH/3/SERI
Tukuru	TRAP/YACO//KAUZ/TRAP//KAUZ
Kambara	BAV*2//KT/BG//FN/U/3/BZA/4/TRM/5/ALDAN/6/SERI/7/YRA/8/OPATA
Rebeca F2000	PFAU/SERI//BOW
Atila	ND/VG9144//KAL/BB/3/YACO/4/VEE#5

En el Cuadro 2 se indica el número de genes de resistencia a roya de la hoja que poseen las líneas y variedades evaluadas en la presente investigación, información que permitirá determinar el porcentaje de pérdidas por esta enfermedad en función de los genes de resistencia.

Cuadro 2. Genes de resistencia efectivos a roya de la hoja en los genotipos evaluados para cuantificar el porcentaje de pérdidas. P-V/2001.

Genotipo	Genes aditivos para resistencia
Baviacora M92	1 gen
Jupateco 73S	*
Jupateco 73R	<i>Lr</i> 34
Nacozari M76	<i>Lr</i> 34 + 1 gen
Sonoita 81	<i>Lr</i> 34 + 1 o 2 genes
Trap	<i>Lr</i> 34 + 2 o 3 genes
Mor/*2Kauz	<i>Lr</i> 34 + 1 o 2 genes
Chapio	<i>Lr</i> 34 + 2 o 3 genes
Esmeralda M86	<i>Lr</i> 34 + 2 o 3 genes
Pavon F76	2 genes
Apache M81	2 genes
Amadina	3 o 4 genes
Juchi F2000	<i>Lr</i> 34 + 2 o 3 genes
Batán F96	1 gen
Tukuru	<i>Lr</i> 34 + 3 o 4 genes
Kambara	3 genes
Rebeca F2000	2 genes
Attila	2 genes

* = No presenta ningún gen de resistencia

3.3. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado en cada localidad fue el de Bloques completos al azar con tres repeticiones y se utilizó un arreglo de tratamientos de parcelas divididas ubicando en las parcelas grandes los tratamientos con y sin fungicida, mientras que en las parcelas chicas se ubicaron los genotipos.

Se aplicaron dos tratamientos en las parcelas grandes, con incidencia y sin incidencia de enfermedades; para lograr la incidencia, se inoculó con esporas de roya de la hoja raza MCJ/SP, suspendidas en aceite mineral Sotrol 170[®], durante el embuche y espigamiento, aproximadamente entre los 55 y 70 días después de la siembra mientras que para lograr las parcelas sin incidencia se hicieron dos aplicaciones del fungicida Tebuconazole.

3.4. Parcela y unidad experimental

La unidad experimental fue de cuatros surcos de 3 metros de largo y espaciado a 30 cm, que corresponde a una superficie de 3.6 m², que se consideró como la parcela útil.

3.5. Variables en estudio

Se registraron dos tipos de variables, directas e indirectas. Las variables directas se tomaron de las parcelas experimentales y las indirectas son el resultado de cálculos con variables generadas del muestreo en las parcelas.

3.5.1. Variables directas

1. Días a floración (DF): días transcurridos desde la siembra hasta el momento en que el 50% de las anteras estuvieron expuestas.
2. Días a madurez (DM): días transcurridos desde la siembra hasta el momento en que el pedúnculo de la espiga cambió a un color amarillo.
3. Altura de planta (AP): Altura en centímetros desde la superficie del suelo hasta la punta de la espiguilla terminal de la espiga principal o superior.
4. Rendimiento de grano (REN): Peso de grano producido por todas las espigas de cada parcela, registrado en gramos por metro cuadrado, luego se transformó en kg/ha.

3.5.2. Variables indirectas:

1. Biomasa total en gramos por m² (Biomasa)

$$\text{Biomasa} = [(\text{RGP} + \text{RE25T})/\text{PU/IC}]$$

2. Índice de cosecha (IC)

$$\text{IC} = \text{RE25T}/\text{RB25T},$$

3. Espigas por metro cuadrado (EPMC)

$$\text{EPMC} = \text{Biomasa}/(\text{RB25T}/25),$$

4. Peso de 1000 gramos (PMG)

$$\text{PMG} = \text{Peso de 100 granos} \times 10$$

5. Granos por metro cuadrado (GPMC)

$$\text{GPMC} = \text{RG}/(\text{Peso de 1000 granos}/1000)$$

6. Espiguillas por espiga (EE). Número total de espiguillas formadas por espiga

7. Granos por espiga (GPE)

$$GPE = GPM/EPMC$$

8. Granos por espiguilla por espiga (GPEE)

$$GPEE = GPE/NEE.$$

Donde:

RB25T = Rendimiento biológico de 25 tallos en gramos

RE25T = Rendimiento económico de 25 tallos en granos

RGP = Rendimiento de grano de la parcela en gramos

PU = Parcela útil

NEE = Número de espiguillas por espiga

3.6. Manejo agronómico de los experimentos

Los experimentos se establecieron durante el ciclo primavera-verano del 2001 bajo condiciones de temporal, aplicándoles el paquete tecnológico recomendado por el INIFAP-2000, para cada una de las localidades donde se establecieron dichos experimentos.

3.7. Inoculación

Se utilizó una suspensión de aceite Sotrol 170[®] y esporas de la roya de la hoja raza MCJ/SP, a una concentración de 10 000 esporas por ml de aceite, que se asperjaron durante la etapa de embuche y espigamiento, en todas las unidades experimentales con la ayuda de un atomizador manual.

3.8. Análisis de la información

Con la información obtenida, primero se realizó un análisis de varianza general utilizando un diseño de experimentos anidado en localidades, con un ANOVA, descrito por Saghún en 1998, enseguida, se realizó la comparación de medias empleando la prueba de Tukey al 0.05%.

Se realizó también un análisis de varianza en cada localidad utilizando un diseño experimental en arreglo de tratamientos en parcelas divididas. Con la información de las correlaciones se seleccionaron las variables que presentaban mayor grado de asociación con el rendimiento de grano y se utilizó los promedios de los tratamientos con y sin fungicida para establecer con mayor facilidad el daño por la enfermedad; todos estos análisis se realizaron con el paquete SAS.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis general de las variables

En el Cuadro 3 se presenta el análisis conjunto de las cinco localidades para las variables en estudio, en donde se observan diferencias altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$) para las localidades en todas las variables, excepto en días a madurez. Esa diferencia entre localidades era de esperarse, debido a lo contrastado de las áreas temporaleras en los Valles Altos a través de la distancia y el tiempo (Villaseñor y Espitia, 2000). En tratamientos, se detectaron diferencias altamente significativas en días a maduración, daño máximo de área foliar, rendimiento y biomasa; para espigas por metro cuadrado, peso de mil granos y granos por metro cuadrado las diferencias fueron significativas; mientras que para días a floración, altura de planta, índice de cosecha, granos por espiga y espiguillas por espiga no hubo diferencias, resultados que coinciden con lo reportado por Blanco (1988) y Cáceres (2000). En la interacción de localidad por tratamiento, solamente se detectó diferencia altamente significativa en la variable daño máximo de área foliar. En genotipos se encontraron diferencias altamente significativas en todas las variables, lo que se atribuye a la amplia variabilidad genética incluida en el estudio, sobre todo en cuanto al número de genes de resistencia que poseen (Cuadro 2). En la interacción localidad por genotipo, hubo diferencias altamente significativas en todas las variables en estudio, lo que indica que los genotipos se comportaron de manera diferente a través de las localidades. En la interacción tratamiento por genotipo, se observaron diferencias altamente significativas en las variables días a madurez y daño máximo de

área foliar, y diferencias significativas en rendimiento de grano y biomasa. En la interacción de localidad por tratamiento por genotipo, sólo se detectaron diferencias altamente significativas en altura de la planta y daño máximo de área foliar.

En el cuadro 3 se presentan los coeficientes de variación de las diferentes variables en estudio, en donde se observa que los valores de estos variaron de 1.5 a 21 %, resultados que indican buen nivel de confiabilidad en la información recopilada y la que permitirá la formulación de conclusiones adecuadas.

Cuadro 3. Cuadros medios del análisis de varianza general para los 18 genotipos de trigo evaluados con y sin la aplicación de fungicida en cinco localidades de los Valles Altos. P-V/2001.

Fuente de variación	GL	DF	DM	AP	DMAF	REN	IC
LOCALIDAD	4	422.44 **	51.87 ^{NS}	6033.56**	2514.28**	103390108.08**	0.308**
REP (LOC)	10	3.79	27.35	142.65	81.57	4261386.24	0.014
TRATAMIENTO	1	6.01 ^{NS}	469.01**	0.04 ^{NS}	147180.04**	22660484.23**	0.003 ^{NS}
LOC*TRAT	4	1.25 ^{NS}	10.36 ^{NS}	8.27 ^{NS}	676.22**	1028822.93 ^{NS}	0.004 ^{NS}
REP*TRAT(LOC)	10	4.15	4.28	58.91	91.01	1050312.51	0.007
GENOTIPO	17	209.53**	233.39**	1534.29**	7205.96**	3360826.34**	0.032**
LOC*GENOT	68	8.95**	16.87**	78.89**	181.26**	1027130.62**	0.013**
TRAT*GENOT	17	0.76 ^{NS}	7.30**	14.94 ^{NS}	2845.83**	647783.74*	0.005 ^{NS}
LOC*TRAT*GENOT	68	1.09 ^{NS}	2.11 ^{NS}	40.07**	141.64**	251441.51 ^{NS}	0.005 ^{NS}
ERROR	340	0.95	2.14	22.70	28.89	373094.71	0.005
CV		1.50	1.28	6.24	18.09	17.60	13.55
Fuente de variación	GL	BIOM (g/cm ²)	EPMC	PMG	GPMC	GPE	GPEE
LOCALIDAD	4	3832733.85**	882648.40**	6509.70**	431769734.17**	1682.26**	3.19**
REP(LOC)	10	228652.42	79941.10	25.37	42817788.80	192.08	0.44
TRATAMIENTO	1	700625.93**	126235.91*	121.81*	92063800.88*	34.73 ^{NS}	0.92 ^{NS}
LOC*TRAT	4	68261.36 ^{NS}	33958.70 ^{NS}	52.19 ^{NS}	3250992.10 ^{NS}	69.37 ^{NS}	0.24 ^{NS}
REP*TRAT*LOC	10	39147.28	24398.03	18.81	14240521.70	88.29	0.38
GENOTIPO	17	164551.17**	546662.74**	161.03**	25176720.75**	148.48**	0.39**
LOC*GENOT	68	38134.84**	16351.25**	47.37**	8912507.79**	67.90**	0.22*
TRAT*GENOT	17	35004.03*	10511.51 ^{NS}	14.14 ^{NS}	6007970.35 ^{NS}	30.80 ^{NS}	0.15 ^{NS}
LOC*TRAT*GENOT	68	16970.98 ^{NS}	7078.11 ^{NS}	15.71 ^{NS}	3711970.50 ^{NS}	32.89 ^{NS}	0.13 ^{NS}
ERROR	340	20204.32	9112.29	12.47	3966787.41	27.37	0.11
CV		20.86	20.26	9.64	20.58	18.80	18.23

LOC= Localidad; TRAT= Tratamiento (con y sin fungicida); REP= Repetición; GENOT= Genotipo; CV= Coeficiente de variación; GL= Grados de libertad; DF= Días a floración; DM= Días a madurez; AP= Altura de planta; DMAF= Daño máximo de área foliar; REN= Rendimiento; IC= Índice de cosecha; BIOM= Biomasa; EPMC= Espigas por metro cuadrado; PMG= Peso de mil granos; GPMC= Granos por espiga; GPE= Granos por espiguita

4.2. Comparación de medias general

4.2.1. Comparación de medias entre localidades

En el Cuadro 4, se muestran las comparaciones de medias entre localidades, donde se observa que para la variable días a floración en Tecamac se presentó el ciclo más corto, mientras que en Apan fue la localidad con mayor valor en esta variable. Para días a madurez, a pesar de que con la prueba de Tukey se detectó diferencia entre las localidades, prácticamente desde el punto de vista agronómico éstas fueron semejantes, con una variación de 1.5 días. En el caso de altura de planta en Chapingo se dio el mayor crecimiento con 84.20 cm; mientras que en Tecamac se registró la menor altura, variación que es reflejo del stress hídrico ocurrido. El daño máximo de área foliar es la variable que se asocia con la incidencia de roya en cada sitio; el máximo daño se presentó en Chapingo con 36.9%, mientras que la menor incidencia se registró en Zotoluca 24.76 %. Para rendimiento de grano promedio por localidad, se observa que hubo diferencias significativas entre todas las localidades, es decir, todos los sitios fueron diferentes; en Coatepec se observó el mayor rendimiento, con 4815 kg/ha, y el menor en Tecamac, con 2881 kg/ha.

En las variables respuesta como índice de cosecha, biomasa, espigas por metro cuadrado, peso de mil granos, granos por metro cuadrado, granos por espiga y granos por espiguilla, en menor o mayor grado, se presentaron diferencias altamente significativas de acuerdo con la prueba de Tukey (5%), resultados que concuerdan con los reportados por Blanco (1998) y Cáceres (2000), quienes indican que este tipo de

variables tienden a variar mucho entre localidades y son altamente influenciadas por el ambiente.

Cuadro 4. Comparación de medias entre localidades para las diferentes variables en estudio en la evaluación de 18 genotipos con y sin fungicida. P-V/2001.

LOCALIDAD	DF	DM	AP	DMAF	REN	IC
Tecamac	63.13 d	113.25 c	64.14 d	26.85 c	2280.40 e	0.45 d
Zotoluca	63.89 c	114.80 a	75.64 c	24.76 d	2881.28 d	0.59 a
Chapingo	64.02 c	113.15 c	84.20 a	36.99 a	3970.86 b	0.54 b
Coatepec	64.96 b	113.34 c	79.07 b	28.05 c	4815.84 a	0.50 c
Apan	68.18 a	114.03 b	78.58 b	31.89 b	3396.71 c	0.56 b
LOCALIDAD	BIOM	EPMC	PMG	GPMC	GPE	GPEE
Tecamac	539.94 d	461.01 a	23.99 c	9794.2 b	22.68 e	1.65 c
Zotoluca	507.98 d	280.00 c	41.47 a	7050.4 d	25.72 d	1.86 b
Chapingo	762.76 b	401.78 b	34.17 b	11715.3 a	29.81 b	1.86 b
Coatepec	967.89 a	428.28 ab	42.33 a	11471.2 a	27.83 c	1.95 b
Apan	628.10 c	260.83 c	41.06 a	8368.6 c	33.08 a	2.12 a

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%). DF= Días a floración, DM= Días a madurez, AP= Altura de planta, DMAF= Daño máximo de área foliar, IC= Índice de cosecha, REN= Rendimiento, BIOM= Biomasa, EPMC= Espigas por metro cuadrado, PMG= Peso de mil granos, GPMC= Granos por metro cuadrado, GPE= granos por espiga, GPEE= Granos por espiga por espiguilla.

4.2.2. Comparación de medias entre tratamientos

En el Cuadro 5 se presenta la comparación de medias general entre tratamientos; para fines de análisis, se identificaron las variables que prácticamente quedaron definidas antes de la incidencia de los patógenos y que fueron altura de planta, días a floración y espigas por metro cuadrado, y las que se definieron posteriormente a su presencia que fueron días a madurez, daño máximo de área foliar, rendimiento, índice de cosecha,

biomasa, peso de mil granos, granos por metro cuadrado, granos por espiga y granos por espiguilla.

Se observa que para el caso del ciclo biológico la aplicación del fungicida no afectó los días a floración, mientras que para días a madurez el tratamiento con fungicida retardó el ciclo; es decir, la incidencia de roya (sin fungicida) aceleró la maduración de los genotipos, resultados que concuerdan con los reportados por Blanco (1988), Cáceres (2000) y Ruiz (2000) quienes evaluaron el efecto de las enfermedades en trigo de temporal. En el caso de altura de la planta, índice de cosecha, granos por espiga y granos por espiguilla los tratamientos no presentaron efecto significativo sobre dichas variables. En lo que se refiere al daño máximo de área foliar se observó que el valor del tratamiento sin fungicida fue muy alto (43 %), caso contrario sucedió con el tratamiento con fungicida; resultados que eran de esperarse por el control que ejerce el fungicida sobre el patógeno. Cabe señalar que en el tratamiento con fungicida no se logró un control absoluto, ya que se tubo una incidencia del 13 %, tal vez para lograr un control absoluto se requiera de una aplicación más; no obstante, se logró cumplir el objetivo en cuanto al manejo de los tratamientos, ya que en general se logró crear epifitias severas de roya de la hoja en las diferentes localidades, lo cual se discutirá cuando se analice la interacción tratamiento por variedad, en donde se podrá confirmar que en variedades susceptibles como Jupateco 73S se manifestaron incidencias hasta del 100 %, mientras que genotipos resistentes como Trap se alcanzaron con el tratamiento sin fungicida lecturas máximas de 10 %. El tratamiento con fungicida presentó mayor rendimiento (3673 kg), comparado con el tratamiento sin fungicida (3264 kg); la diferencia fue de 409 kg que equivale al 11 %, efecto que en su momento puede considerarse bajo, sin

embargo, también es conveniente considerar que es el promedio de genotipos susceptibles y resistentes. Para el caso de biomasa, el tratamiento con fungicida le brindó protección a la planta contra la roya, respuesta de ello fue la mayor producción de biomasa. Esto también se vio reflejado en el mayor número de espigas, granos por metro cuadrado y el peso de mil granos.

Cuadro 5. Comparación de medias entre tratamientos para las diferentes variables en estudio en la evaluación de 18 genotipos con y sin fungicida. P-V/200.

TRATAMIENTOS	DF	DM	AP	DMAF	REN	IC
CON FUNGICIDA	64.73 a	114.65 a	76.32 a	13.20 b	3673.87 a	0.53 a
SIN FUNGICIDA	64.94 a	112.79 b	76.34 a	43.22 a	3264.17 b	0.53 a
TRATAMIENTOS	BIOM	EPMC	PMG	GPMC	GPE	GPEE
CON FUNGICIDA	717.93 a	381.87 a	37.3 a	10096.1 a	106.1 a	7.2 a
SIN FUNGICIDA	644.30 b	350.69 b	37.0 a	9230.7 b	104.8 a	7.1 a

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%). DF= Días a floración, DM= Días a maduración, AP= Altura de planta, DMAF= Daño máximo de área foliar, IC= Índice de cosecha, REN= Rendimiento, BIOM= Biomasa, EPMC= Espiguillas por metro cuadrado, PMG= Peso de mil granos, GPMC= Granos por metro cuadrado, GPE= granos por espiga, GPEE= Granos por espiga por espiguilla.

4.2.3. Comparación de medias entre genotipos

En el cuadro 6 se presenta la comparación de medias entre genotipos. En donde puede observarse que los genotipos Nacozari M76, Amadina y Esmeralda M86 fueron los que requirieron menos días para floración (61 días); mientras que Rebeca F2000 necesitó más días para florecer (69 días). De igual manera, Rebeca F2000 fue el genotipo que necesitó mayor número de días para madurar, siendo los más precoces Jupateco 73S y Nacozari M76. Los genotipos que presentaron mayor altura de planta fueron Rebeca F2000 y Trap con 86 y 88 cm y la de menor crecimiento fue Sonoita 81 con 58 cm. El

daño máximo de área foliar lo presentó el genotipo Jupateco 73S con 62 %, esto puede deberse a que no tiene ningún gen de resistencia que le ayude a contrarrestar el efecto del patógeno; y los genotipos Trap, Chapio y Tukurú fueron los que presentaron menor daño (alrededor de 10 %), Esto concuerda con lo reportado por Sayre *et al.*, (1998), quienes muestran que las pérdidas en rendimiento por cultivares que poseen la combinación de 2 o 3 genes aditivos con el gen *Lr34* es de 7.7 a 10.4 %. Para el caso de rendimiento, el genotipo más productivo fue Chapio con 4053 kg/ha, figurando como el único que pasó de los 4000 kg/ha, mientras que los de menor rendimiento fueron Jupateco 73S y Mor/*2Kauz con 2832 y 2868 kg/ha respectivamente. El índice de cosecha más alto lo presentó Sonoita 81 con 0.61 días mientras que Trap y Rebeca F2000 se ubicaron con el más bajo (0.46 días). Para la variable biomasa, el genotipo Juchi F2000 fue el más alto con 789 gramos mientras que Jupateco 73S y Mor/*2Kauz presentaron los menores valores con 557 y 582 gramos respectivamente. En espigas por metro cuadrado nuevamente Juchi F2000 presentó la media más alta con 496 espigas, y Kambara, Baviacora M92 y Batán F96 las más bajas con 316, 325 y 328 espigas respectivamente. En el peso de mil granos Kambara fue el genotipo con mayor peso con 41.2 gramos mientras que Mor/*2Kauz fue el que presentó menor peso con 32.8 gramos. En la producción de granos por metro cuadrado Juchi F2000 fue la que produjo mayor número con 11562 granos mientras que Batán F96 y Amadina fueron las que produjeron menos con 8267 y 8307 granos, respectivamente. Para granos por espiga solamente Chapio y Kambara produjeron más de 30 granos, mientras que Juchi F2000 figuró con el menor número. En cuanto al número de granos por espiguilla, nuevamente Chapio y Kambara presentaron los mayores valores y Apache M81 el menor número.

Cuadro 6. Comparación de medias general entre genotipos para las variables en estudio en la evaluación con y sin fungicida en las cinco localidades P-V/2001.

GENOTIPOS	DF (días)	DM (días)	AP (cm)	DMAF (%)	REN (kg/ha)	IC
Baviacora M92	66.6 ed	116.4 bc	79.0 def	42.1 def	3562.6 abcd	0.50 bc
Jupateco 73S	62.1 l	109.5 l	74.8 fghi	62.1 a	2832.0 e	0.53 bc
Jupateco 73R	62.1 l	111.1 g	78.3 defg	37.1 d	3521.9 abcd	0.55 ab
Nacozari M76	61.0 j	109.8 hi	69.8 j	31.1 e	3465.2 bcd	0.54 ab
Sonoita 81	62.7 hi	111.4 g	58.0 k	41.8 cd	3472.8 bcd	0.61 a
Trap	67.8 bc	117.5 ab	88.1 a	9.0 h	3484.8 bcd	0.46 c
Mor/*2Kauz	67.9 b	116.0 cd	73.1 hij	13.6 gh	2868.8 e	0.53 b
Chapio	65.9 ef	114.6 e	71.1 ij	10.8 h	4053.1 a	0.54 ab
Esmeralda M86	61.8 ij	113.2 f	72.6 ij	41.5 cd	3742.6 abc	0.53 b
Pavon F76	65.5 f	114.9 ed	80.7 cde	48.0 b	3850.4 ab	0.55 ab
Apache M81	66.9 cd	115.3 cde	80.2 de	41.5 cd	3292.2 cde	0.51 bc
Amadina	61.0 j	110.4 ghi	69.6 j	17.3 g	3133.5 ed	0.54 b
Juchi F2000	64.5 g	113.1 f	82.1 bcd	16.0 g	3896.1 ab	0.52 bc
Batán F96	62.3 h	110.9 ghi	77.2 efgh	40.5 cd	3163.7 ed	0.52 bc
Tukuru	67.7 bc	116.4 bc	73.8 hij	10.3 h	3281.5 cde	0.54 ab
Kambara	66.2 def	116.5 bc	84.6 abc	17.5 g	3787.8 abc	0.51 bc
Rebeca F2000	69.3 a	118.0 a	86.0 ab	30.1 e	3469.8 bcd	0.46 c
Attila	64.5 g	111.7 g	74.3 ghi	24.0 f	3563.5 abcd	0.55 ab
DMHS (Tukey 5%)	0.88	1.33	4.32	4.87	554.5	0.06
GENOTIPOS	BIOM	EPMC	PMG (g)	GPMC	GPE	GPEE
Baviacora M92	716.8 abcde	325.0 c	37.9 bcde	9576.7 bcde	30.4 abc	1.90abc
Jupateco 73S	557.7 f	335.9 bc	33.6 hi	8400.3 de	26.3 cde	1.92abc
Jupateco 73R	654.3 bcdef	419.9 ab	36.4 cdefgh	9984.1 abcde	25.1 de	1.87 bc
Nacozari M76	651.5 bcdef	393.6 bc	34.6 fghi	10169.1 abed	27.8 abcde	1.93 bc
Sonoita 81	588.6 ef	360.7 bc	36.9 cdefg	9543.0 bcde	26.6 bcde	1.90 bc
Trap	772.0 ab	380.6 bc	35.3 efghi	9450.3 bcde	26.9 bcde	1.89abc
Mor/*2Kauz	582.2 f	353.4 bc	32.8 i	8960.0 cde	27.7 abcde	1.87 bc
Chapio	757.2 abc	340.9 bc	38.9 abc	10641.6 abc	32.3 a	2.17 a
Esmeralda M86	715.3 abcde	341.6 bc	40.4 ab	9278.0 cde	29.5 abcde	1.90 bc
Pavon F76	719.6 abcd	387.5 bc	35.2 efghi	1107.5 ab	29.2 abcde	1.94 bc
Apache M81	662.9 abcdef	394.4 cd	37.8 bcdef	8958.5 cde	24.5 e	1.63 c
Amadina	622.5 def	340.4 bc	38.0 abcde	8307.5 e	25.3 de	1.86abc
Juchi F2000	789.5 a	496.2 a	34.2 ghi	11562.3 a	24.5 e	1.75 bc
Batán F96	634.9 bcdef	328.2 c	38.7 abcd	8267.5 e	26.8 bcde	1.75 bc
Tukuru	621.6 def	344.0 bc	34.8 efghi	9965.0 bcde	29.4 abcd	1.99 ab
Kambara	772.2 ab	316.7 c	41.2 a	9718.0 bcde	31.1 ab	2.01 ab
Rebeca F2000	777.2 ab	357.9 bc	36.1 cdefgh	9510.3 bcde	28.2 abcde	1.78 bc
Attila	666.8 abcdef	375.1 bc	35.6 defghi	10302.5 abc	28.5 abcde	1.96 ab
DMHS (Tukey 5%)	129.17	87.21	3.20	1809.9	4.75	0.31

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%). DF= Días a floración, DM= Días a madurez, AP= Altura de planta, DMAF= Daño máximo de área foliar, IC= Índice de cosecha, REN= Rendimiento, BIOM= Biomasa, EPMC= Espigas por metro cuadrado, PMG= Peso de mil granos, GPMC= Granos por metro cuadrado, GPE= Granos por espiga, GPEE= Granos por espiga por espiguilla.

De la información presentada en el Cuadro 6, se deduce por el número de grupos formados de acuerdo con la prueba de Tukey (5 %). En las diferentes variables, que los genotipos evaluados fueron altamente contrastados, lo que permitirá hacer un análisis profundo sobre el nivel de resistencia que tienen en función de los genes que posee.

4.2.4. Pérdidas por roya de la hoja entre genotipos con y sin protección de fungicida

En el Cuadro 7 se presentan las pérdidas promedio (en %) de los genotipos evaluados en las cinco localidades para las variables días a madurez (DM), daño máximo de área foliar (DMAF), rendimiento de grano (REN) y peso de 1000 granos (PMG); se eligieron dichas variables, debido a que en las mismas se registró un mayor efecto de la roya de hoja, aquí las pérdidas en daño máximo de área foliar son absolutas, obtenidas al restarle el porcentaje sin fungicida el porcentaje con fungicida.

Cuadro 7. Promedio general en rendimiento de los genotipos en los tratamientos con y sin fungicida y sus porcentajes de pérdidas. P-V/2001.

Genotipos	CON FUNGICIDA				SIN FUNGICIDA				PÉRDIDAS EN %			
	DM	DMAF	REN	PMG	DM	DMAF	REN	PMG	DM	DMAF	REN	PMG
Tukuru	117	6	3357	34	116	14	3206	36	-0.9	8	-4.9	+5.8
Trap	118	4	3387	36	117	14	3582	35	-0.9	10	+5.6	-2.7
Chapio	115	6	4101	39	114	16	4006	39	-0.9	10	-2.3	0
Esmeralda M86	115	19	4086	41	112	64	3399	40	-2.6	45	-6.8	-2.4
Amadina	111	9	3201	39	110	25	3066	37	-0.9	14	-4.2	-5.1
Juchi F2000	114	9	3885	34	113	23	3907	36	-0.9	14	+0.6	+5.8
Sonoita 81	113	15	3768	37	110	68	3177	37	-2.7	53	-15.6	0
Mor/*2Kauz	117	7	2999	32	115	20	2739	33	-1.7	13	-8.6	+3.1
Kambara	117	8	3956	42	116	27	3620	40	-0.9	19	-8.4	-4.8
Nacozari M76	111	13	3557	35	109	50	3373	34	-1.8	37	-5.2	-2.8
Pavón 76	116	19	4191	36	114	77	3510	35	-1.7	58	-16.2	-2.7
Apache M81	116	17	3556	40	114	66	3029	36	-1.7	49	-14.8	-10
Rebeca F2000	119	16	3670	37	117	45	3270	35	-1.7	29	-10.9	-5.4
Attila	113	11	3820	37	111	37	3307	35	-1.8	26	-13.4	-5.4
Baviacora	118	17	4015	38	115	67	3110	37	-2.6	50	-22.5	-2.6
Jupateco 73R	112	18	3708	37	110	56	3336	36	-1.8	38	-10.0	-2.7
Batán F96	112	16	3426	40	110	65	2902	38	-1.8	49	-15.2	-5.0
Jupateco 73S	112	27	3246	35	108	97	2418	32	-3.6	70	-22.5	-8.6

DM= Días a madurez, DMAF= Daño máximo del área foliar, REN= Rendimiento de grano, PMG= Peso de mil granos. * = las pérdidas en DMAF son absolutas (Sin Fungicida menos Con Fungicida)

En general, el ciclo a madurez en todos los genotipos tendió a acortarse con la presencia de la roya de la hoja, esa reducción fue prácticamente de un día en los genotipos más resistentes hasta 3.6 días en la variedad más susceptible (Jupateco 73S), (Figura 1).

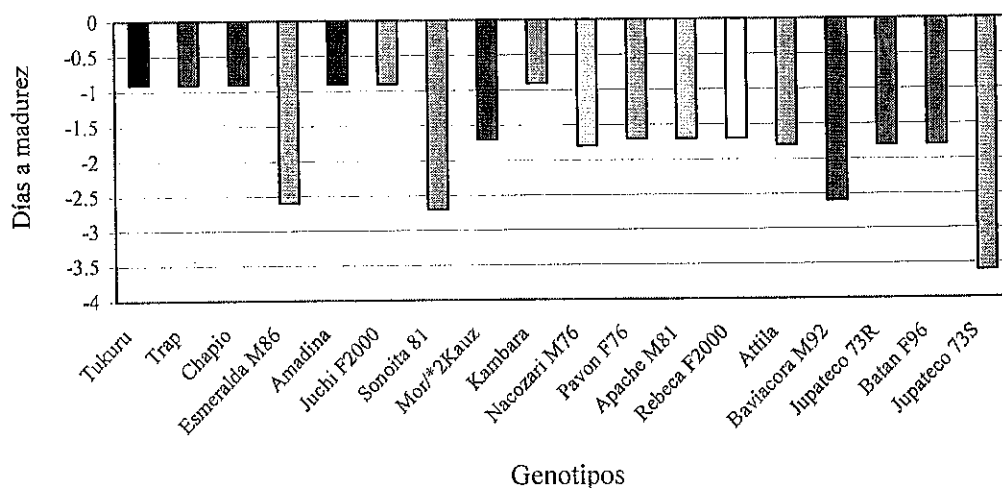


Figura 1. Porcentaje de reducción de los días a madurez de los 18 genotipos evaluados en las cinco localidades. P-V/2001.

El daño máximo del área foliar es una variable importante en la presente investigación, ya que esta íntimamente ligada con la incidencia de la roya de la hoja (Blanco, 1998; Cáceres, 2000) y con los genes de resistencia que poseen las variedades (Huerta, 2000). En el cuadro 7 se observa como la aplicación del fungicida permitió que el daño máximo de área foliar en los genotipos más resistentes fuese menor del 10 % (Tukuru, Trap, Chapio, etc), mientras que en el más susceptible (Jupateco 73S) este llegó hasta un 27 %. Cuando el cultivo no se protegió con fungicida los genotipos resistentes alcanzaron en promedio hasta el 16% de infección, a diferencia del genotipo más susceptible (Jupateco 73S) en el que la infección fue prácticamente del 100 %.

Las diferencias absolutas generadas por el daño máximo de área foliar muestran que el índice más bajo lógicamente lo presentaron las variedades más resistentes (Tukuru, Trap, Chapio) en un rango del 8 al 14 %, comparado con el genotipo más susceptible (Jupateco 73S) que fue de 70 %. En Juchi, Amadina y Mor/2*Kauz el daño máximo de área foliar fue del 13 al 14 % (Figura 2).

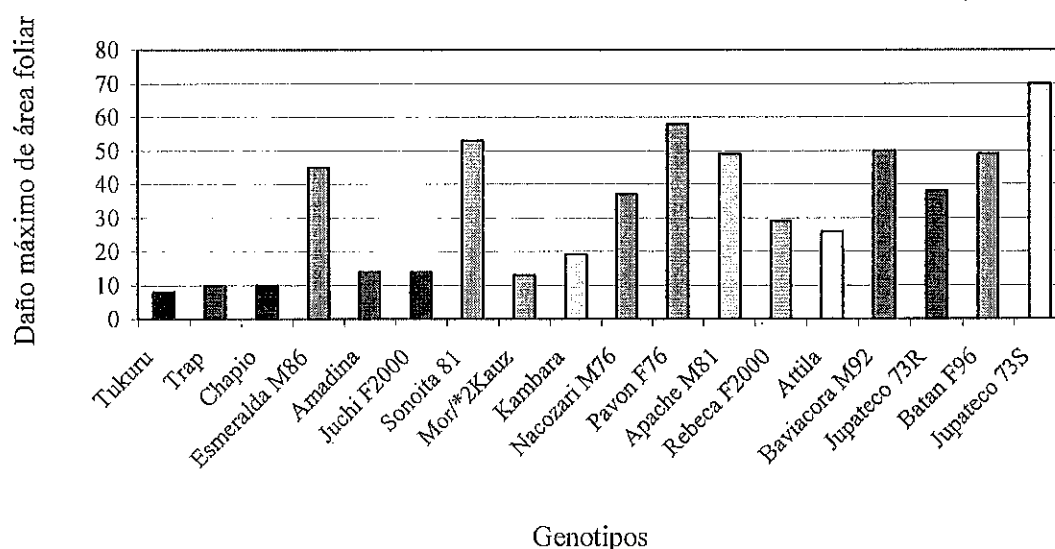


Figura 2. Porcentaje de daño máximo de área foliar de los 18 genotipos evaluados en las cinco localidades. P-V/2001.

Lo anterior no fue significativo, indicando con ello que la infección aumento cuando ya las plantas tenían un desarrollo avanzado. Normalmente cuando la infección es severa las plantas se aceleran y maduran más temprano, debido al incremento en la tasa de respiración, mayor transpiración y la alteración de otros procesos metabólicos. Tal es el caso de Jupateco 73S y Baviacora que son los genotipos más susceptibles.

La incidencia de la roya de la hoja afectó el rendimiento de grano hasta un 22.5 % en el genotipo susceptible Jupateco 73S, sin embargo el genotipo Trap sin fungicida llegó a producir hasta 5.6 % más que cuando se aplicó fungicida. En los otros genotipos el porcentaje de pérdidas en el rendimiento en general se asoció con el nivel de incidencia que mostraron, es decir, a mayor lectura de roya de la hoja mayor reducción en el rendimiento, resultados que confirman lo reportado por Blanco (1998) y Ruiz (2000).

Por otra parte, también es motivo como medida que en los genotipos que poseen mayor número de genes de resistencia (Cuadro 2), la incidencia de la enfermedad es menor y consecuentemente se afectó menos el rendimiento de grano, resultados que confirman lo indicado por Huerta y Singh (2000), (Figura 3).

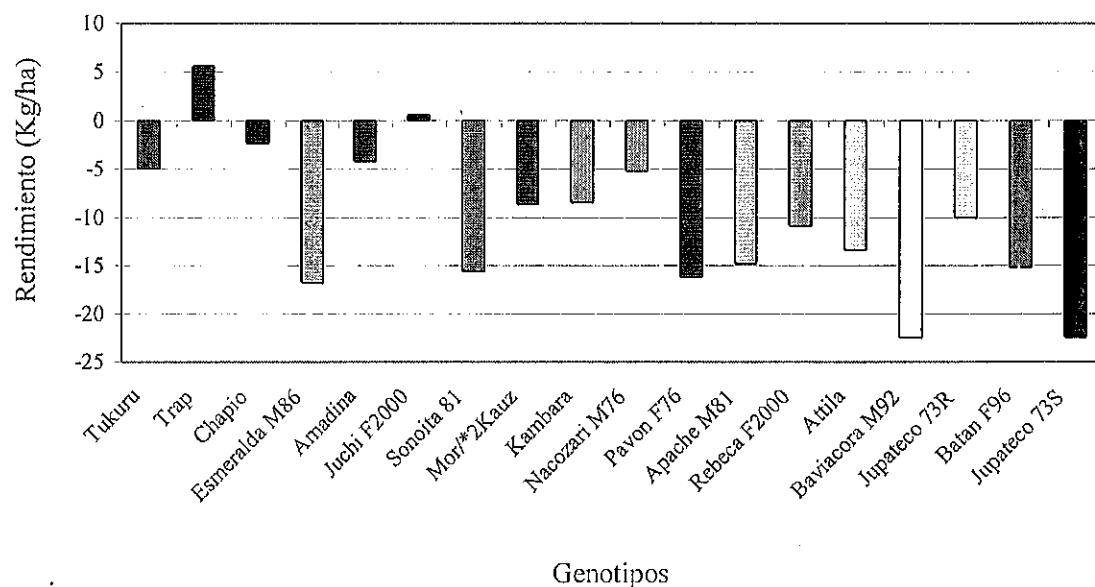


Figura 3. Porcentaje de pérdidas en rendimiento de los 18 genotipos evaluados en las cinco localidades. P-V/2001.

Los genotipos más resistentes Tukuru, Trap y Chapio presentan el gen *Lr34* y otros genes de resistencia que no son específicos a una raza en particular, lo anterior trae como consecuencia la ausencia de hipersensibilidad o muerte de células que ocasiona una pérdida del área foliar mínima, en este caso solo un 6 % más que cuando se aplicó fungicida. A menor pérdida de área foliar, se espera que en el rendimiento se abata en menor proporción, cuando se compara con variedades susceptibles con una pérdida de área foliar máxima como en el caso de Jupateco 73S.

El peso de mil granos, fue una variable que se llegó a afectar hasta en 8.6 % en variedades susceptibles (Jupateco 73S), mientras que en las variedades resistentes como Juchi F2000 y Tukuru, se incrementó en 5.8 % cuando no se aplicó fungicida, información que pudiera indicar cierto efecto del fungicida sobre el llenado del grano de estos genotipos, sobre todo en Juchi F2000 que incluso su grano fue ligeramente más pesado sin fungicida (Figura 4).

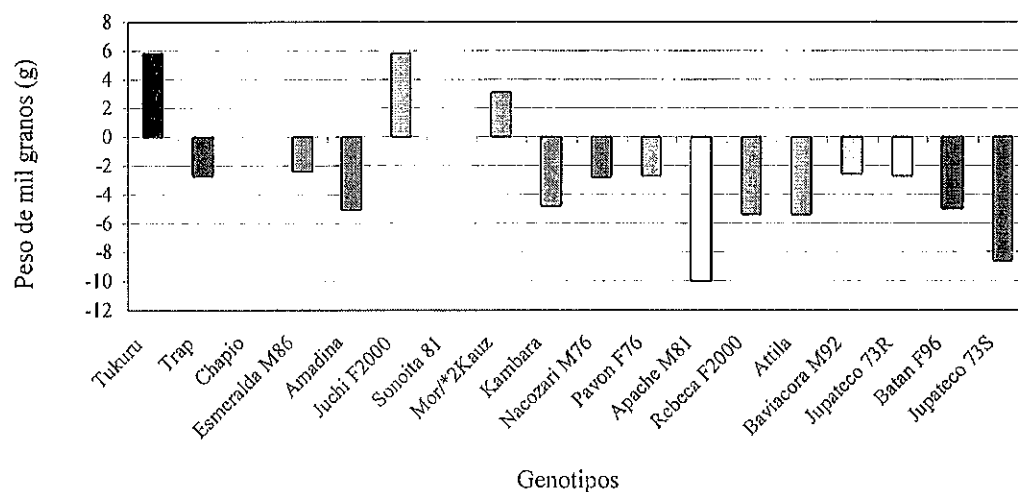


Figura 4. Porcentaje de pérdidas en el peso de mil granos de los 18 genotipos evaluados en las cinco localidades. P-V/2001.

Como consecuencia de la infección de las células de las hojas del trigo el hongo se establece y forma colonias que van a ser visibles, mostrando las masas de urediniosporas cada pustula (uredinia) establece un sistema mediante el cual puede extraer nutrientes de las células que han sido invadidas sin matarlas inmediatamente. El hongo utiliza carbohidratos o productos relacionados con estos que se forman durante el proceso de fotosíntesis.

Como consecuencia de esto, el tejido infectado por el hongo se convierte en una fuente de demanda por nutrientes, de ahí que la principal pérdida de las variedades susceptibles sea en el rendimiento , no solo por la pérdida de área foliar, sino que también por las alteraciones de procesos fisiológicos como el incremento de la tasa de respiración. La tasa fotosintética disminuye considerablemente , con excepción de las islas verdes donde aparentemente hay un incremento en la tasa fotosintética.

4.3. Pérdidas en el rendimiento en función de los genes de resistencia

4.3.1. Efecto del gen *Lr34*

La roya de la hoja en presencia del gen *Lr34* en el genotipo Jupateco 73R redujo en el rendimiento de grano en 10 % un 38 % el daño máximo de área foliar, comparado con Jupateco 73S en donde dicho gen se encuentra ausente, y la pérdida en el rendimiento fue de 22.5 % y en el daño máximo de área foliar fue de 70 % (Figura 5). Esto concuerda con lo reportado por Singh y Huerta (1997) quienes al probar estos dos genotipos encontraron que con la presencia de dicho gen el rendimiento sólo se abate en

un 15 %, mientras que en Jupateco 73S las pérdidas van del 42 al 84 % dependiendo de la fecha de siembra y el año.

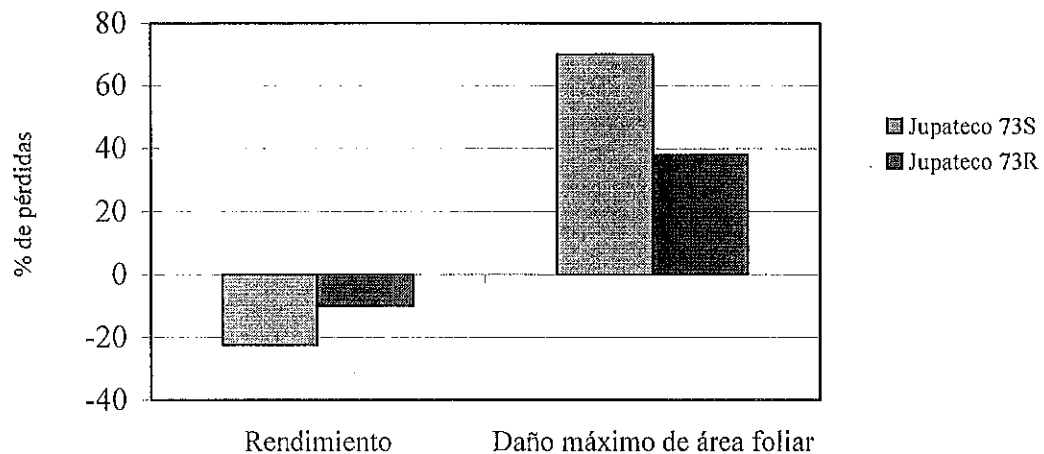


Figura 5. Porcentaje de pérdidas en rendimiento y daño máximo de área foliar en presencia del gen *Lr34* (Jupateco 73R) comparado con Jupateco 73S.

Cuando un genotipo solo posee el gen *Lr34* como Jupateco 73R las pérdidas en el peso de 1000 granos van de un 11.7 % a 12.8 %, mientras que en Jupateco 73S las pérdidas van del 30.8 a 46.5 % (Singh. y Huerta-Espino, 1997).

Sin duda alguna uno de los componentes de rendimiento que se ve más afectado por la roya es el peso del grano. Cuando el hongo invade el tejido vegetal, existe competencia entre el grano y el hongo, ambos como fuente de demanda. Como consecuencia de esta competencia si hay formación de grano, este se chupa por no tener un llenado normal.

4.3.2. Efecto del gen *Lr34* más un gen aditivo

El porcentaje de pérdidas para en el genotipo Nacozari M76 que además del gen *Lr34* posee un gen de resistencia adicional para la variable rendimiento de grano fue del -5.2 % y para daño máximo de área foliar, fue de 37 %, en comparación del genotipo Jupateco 73R (*Lr34*) con 10 % y 38 % (Figura 6). Bajo condiciones de riego la pérdida en rendimiento fue de 7.7 % en Nacozari M76 en promedio de 6 ensayos (Sayre *et al.*, 1998). Cuando se habla de genes aditivos, se piensa que los genes tienen el mismo efecto en reducir la enfermedad; sin embargo, el segundo gen presente en Nacozari M76 tiene un efecto muy pequeño cuando se compara con Jupateco 73R. La diferencia en rendimiento en este caso con respecto a Jupateco 73R es el mayor potencial de rendimiento que Nacozari M76 posee.

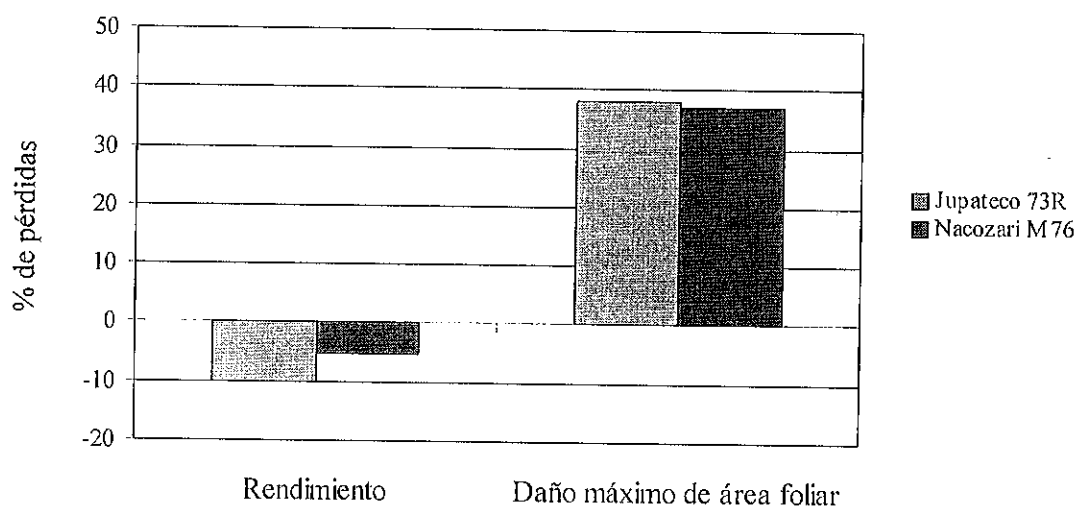


Figura 6. Porcentaje de pérdidas en rendimiento y daño máximo de área foliar en presencia del gen *Lr34* +1 gen aditivo.

4.3.3. Efecto del gen *Lr34* más dos genes aditivos

Se observa que el genotipo Mor/*2Kauz el cual en su fondo genético contiene el gen *Lr34* + 2 genes aditivos, presentó pérdidas en rendimiento fue de 8.6 y un daño máximo de área foliar de 13 %, 22 % menos que en Jupateco 73R (38 %) (Figura 7).

La variedad Morocco es una variedad tan susceptible que raramente llega a producir grano. Normalmente se usa como bordo para dispersar el inóculo. Para poder medir el efecto del gen *Lr34* + 2 genes de efecto aditivo presente en la variedad Bacanora T88 (Singh. y Rjaram, 2000). En Bacanora T88 las pérdidas en rendimiento fueron del orden del 9 % en promedio de 3 años por roya de la hoja (Singh. *et al.*, 1991) y del 9.4 % de pérdidas por efecto de la roya de la hoja (Sayre *et al.*, 1998).

La variedad Morocco se cruzo con la variedad Bacanora T88 y se hizo una retrocruza, se seleccionaron plantas resistentes y con rendimiento igual o mayor que el progenitor resistente. Esta línea evaluada en el presente estudio, la pérdida es de 8.6 % muy similar a lo reportado anteriormente.

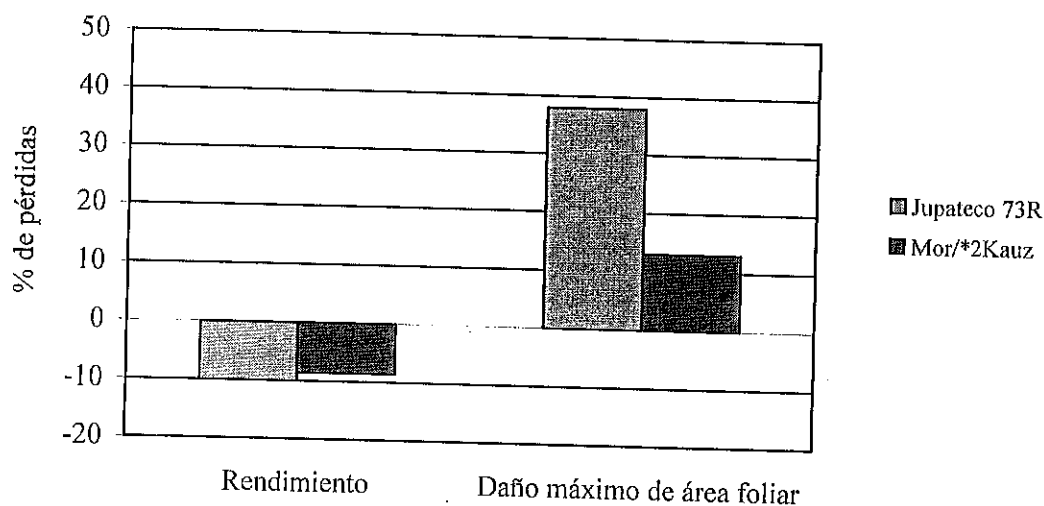


Figura 7. Porcentaje de pérdidas en rendimiento y daño máximo de área foliar en presencia del gen *Lr34* + 2 genes aditivos.

4.3.4. Efecto del gen *Lr34* más tres genes aditivos

En los genotipos Trap y Juchi F2000 (*Lr34* + 3 genes aditivos), no hubo pérdidas en el rendimiento de grano, al contrario hubo ganancias del 5.6 y 0.6 % y pérdidas en el daño máximo de área foliar (10 y 14 %), excepto en Chapio donde las pérdidas fueron de 2.3 %, comparado con el genotipo Jupateco 73R con 10 %, en las pérdidas en rendimiento de grano y 38 % en daño máximo de área foliar (Figura 8). Lo anterior indica que no hay efecto negativo en el rendimiento al aumentar el nivel de resistencia mediante el número de genes, es posible el daño máximo de área foliar del orden del 10 % sea mínima, aunque el 2.3 en el caso de Chapio esto equivale a casi 100 kilos de grano de trigo por hectárea.

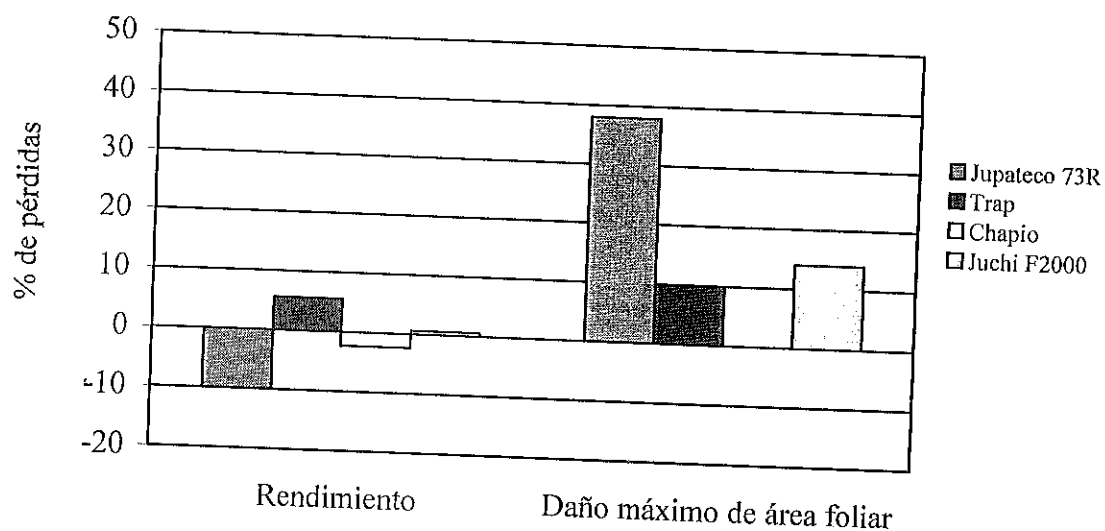


Figura 8. Porcentaje de pérdidas en rendimiento y daño máximo de área foliar en presencia del gen *Lr34* + 3 genes aditivos.

4.3.5.Efecto del gen *Lr34* más cuatro genes aditivos

Las pérdidas en rendimiento fueron de 4,9 y 10 % respectivamente 5 % menos y el daño máximo del área foliar en Tukurú fue de 8 %, comparado con Jupateco 73R de 38 %, (Figura 9). En este caso las pérdidas son casi del 5 %, aunque ciertamente, las diferencias en el rendimiento no son debidas a la roya de la hoja, pero es posible que sea debido a otras enfermedades foliares.

En realidad parece ser que las diferencias entre los genotipos con *Lr34* + 3 y 4 genes aditivos es mínima, inclusive, es posible que tanto Chapio como Tukurú posean el mismo número de genes.

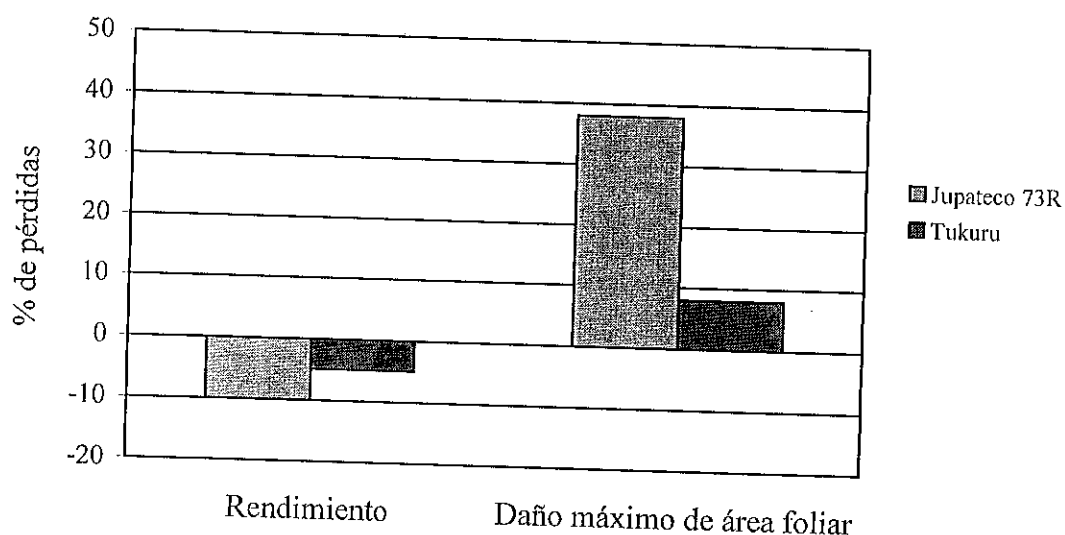


Figura 9. Porcentaje de pérdidas en rendimiento y daño máximo de área foliar en presencia del gen *Lr34* + 4 genes aditivos.

4.3.6. Efecto de uno, dos y tres genes aditivos

En Baviacora las pérdidas en rendimiento de grano y daño máximo de área foliar fueron de 22 y 50 % respectivamente, aunque solo posee un gen de enroscamiento lento tiene una pérdida similar a Jupateco 73S en el cual fue del 70 %. El nivel de resistencia a la roya de la hoja de los genotipos Rebeca y Kambara, para rendimiento fue de 8.6 y 10.9 % y en daño máximo de área foliar fueron de 19 y 29 %, aun cuando no se encuentra presente el gen *Lr34* (Figura 10). Como se ha mencionado anteriormente el gen *Lr34* es el gen que mayores efectos tiene en la enfermedad, que los otros genes de efectos mucho más pequeños. Sin embargo, cuando se conjuntan más de 2 o 3, el efecto es casi similar y aún mejor que el gen *Lr34* solo.

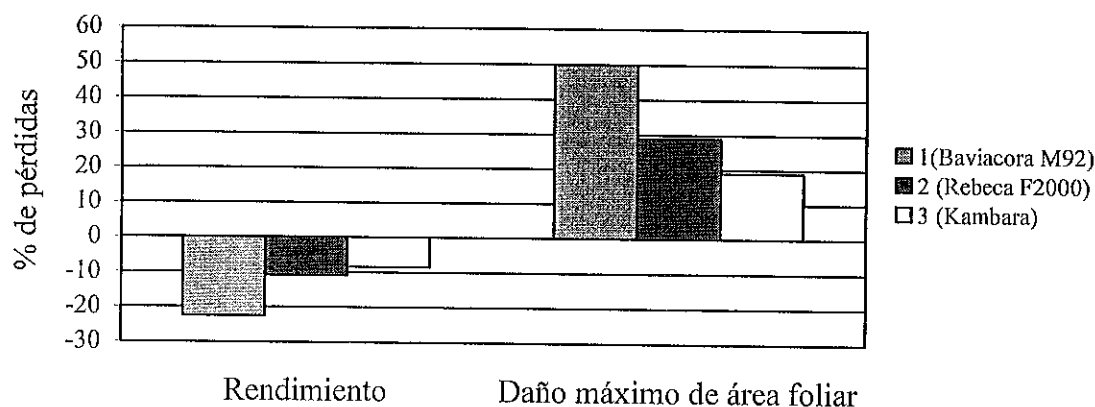


Figura 10. Porcentaje pérdidas en rendimiento y daño máximo de área foliar en presencia de 1,2 y 3 genes aditivos.

4.3.7. Efecto de 4 genes aditivos en ausencia del gen *Lr34*

En Amadina las pérdidas por rendimiento fueron del 4.2 % y en daño máximo de área foliar del 14 %. De todos los genotipos evaluados, solo Chapio, Mor/*2Kauz, Kambara, Tukuru y Amadina, fueron mejorados ex profeso para conjuntar rendimiento y resistencia a la roya de la hoja (Figura 11).

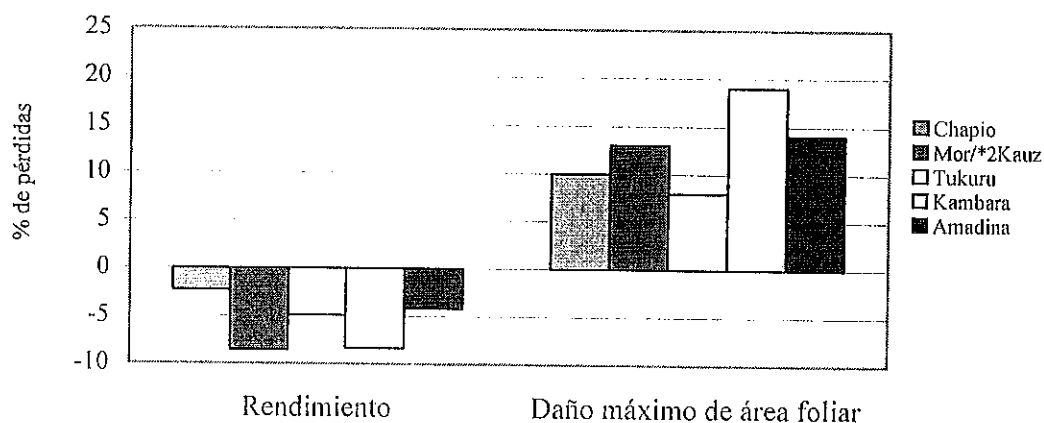


Figura 11. Porcentaje de pérdidas en rendimiento y daño máximo de área foliar en presencia de 4 genes aditivos.

4.4. Análisis para la localidad con mayor severidad de la roya de la hoja

4.4.1. Chapingo

Como se observa en la Figura 12, Chapingo fue la localidad con mayor incidencia de roya de la hoja en trigo, por lo que se procede a presentar y discutir los resultados obtenidos, con el fin de valorar el efecto de la acumulación de genes menores en el control de la roya de la hoja. Los resultados obtenidos en las otras localidades se presentan en el apéndice.

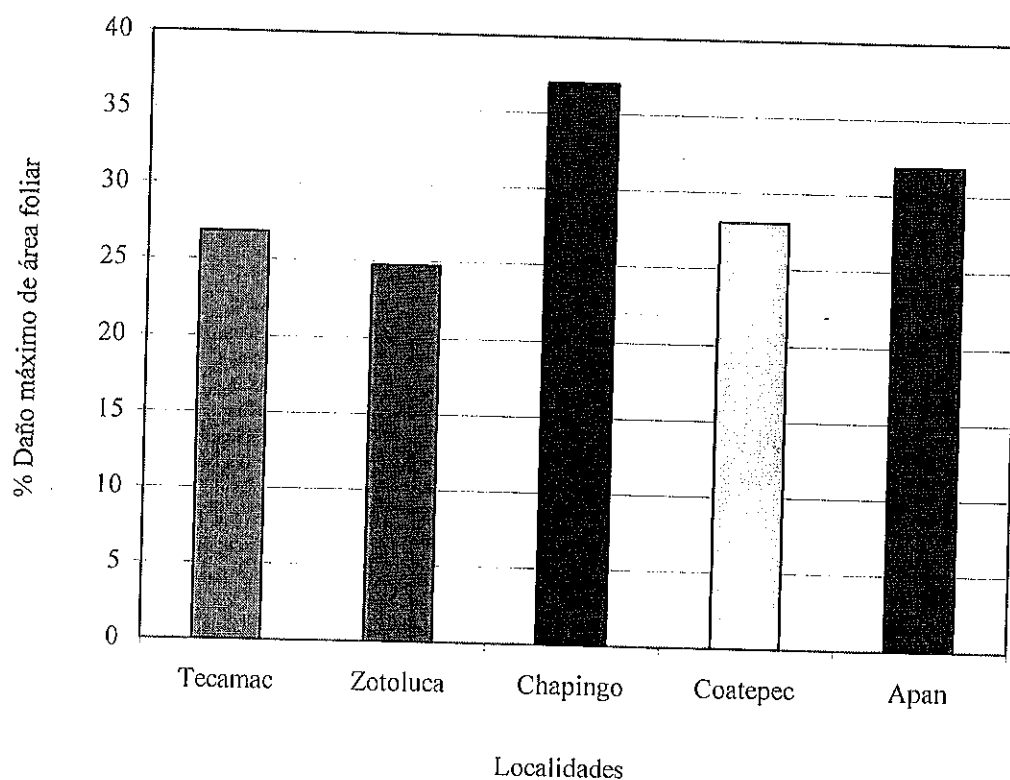


Figura 12. Porcentaje de daño máximo de área foliar en las localidades evaluadas P-V/2001.

4.4.2. Análisis general de las variables

En el Cuadro 8 se presentan los cuadrados medios del análisis de varianza de los genotipos evaluados en Chapingo, México; en tratamientos se observa que existieron diferencias altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$) en las variables días a maduración, daño máximo de área foliar y rendimiento. En genotipos se detectaron diferencias altamente significativas en todas las variables respuesta analizadas y para la interacción tratamiento por genotipo, sólo se observó diferencias altamente significativas en las variables altura de planta y daño máximo de área foliar.

Cuadro 8. Cuadrados medios del análisis de varianza de 18 genotipos de trigo evaluados con y sin fungicida en Chapingo, México. P-V/2001.

FV	GL	DF	DM	AP	DMAF	REN
REPETICIÓN	2	4.08	125.10	253.12	79.39	5638968.26
TRAT	1	0.75 ^{NS}	27.23**	7.25 ^{NS}	46666.89**	14940595.06**
GENOTIPOS	17	56.24**	106.94**	640.75**	1909.87**	3234114.08**
TRAT*GENOT	17	0.67 ^{NS}	6.39 ^{NS}	65.72**	959.54**	666619.33 ^{NS}
ERROR	70	0.55	5.96	26.65	24.87	602623.17
CV		1.15	2.15	6.13	13.48	19.54

TRAT= Tratamiento; REP= Repetición; GENOT= Genotipo; CV= Coeficiente de variación; FV = Fuente de variación; GL= Grados de libertad; DF= Días a floración; DM= Días a maduración; AP= Altura de planta; DMAF= Daño máximo de área foliar; REN= Rendimiento.

4.4.3. Comparación de medias entre tratamientos

En el cuadro 9 se presenta la comparación de medias entre tratamientos para las variables directas, en donde se observa que el tratamiento con la aplicación de fungicida retrasó 3 días la madurez de los genotipos a comparación del tratamiento sin fungicida donde la madurez se aceleró. En la variable daño máximo de área foliar observamos que el tratamiento con fungicida protegió a los genotipos y se tuvo una incidencia de la roya de la hoja de 16% a comparación del tratamiento sin fungicida que fue de 57 %, una diferencia de 41%, estos resultados eran de esperarse por el control que ejerce el fungicida sobre el patógeno, en el tratamiento con fungicida no se logró un control absoluto, tal vez se requiera de una aplicación más para lograr el control absoluto. El mayor rendimiento de grano se obtuvo con la aplicación del fungicida con 4342 kg, comparado con el tratamiento sin fungicida que fue de 3598 kg, una diferencia de 744 kg.

Cuadro 9. Comparación de medias entre tratamientos para las variables directas en Chapingo, México. P-V/2001.

TRATAMIENTOS	DF	DM	AP	DMAF	REN
CON FUNGICIDA	64.11 a	114.60 a	83.94 a	16.20 b	4342.8 a
SIN FUNGICIDA	63.94 a	111.74 b	84.46 a	57.77 a	3598.9 b
DMHS (Tukey 5%)	0.28	0.94	1.98	1.91	297.97

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%). DF= Días a floración; DM= Días a maduración; AP= Altura de planta; DMAF= Daño máximo de área foliar; REN= Rendimiento.

4.4.4. Pérdidas por roya de la hoja en Chapingo entre genotipos con y sin la protección de fungicida

En el Cuadro 10 se presentan las pérdidas promedio (en %) de los genotipos evaluados en la localidad de Chapingo, para las variables días a madurez, daño máximo de área foliar y rendimiento de grano. Se observa que los genotipos a los cuales se les aplicó fungicida retraso su ciclo de madurez en promedio de 8 días, comparado con el genotipo Jupateco 73S, en el tratamiento sin fungicida los genotipos resistentes retrasaron su madurez en 3 días comparado con el genotipo susceptible (Jupateco 73S). El máximo daño foliar en tratamiento con fungicida lo presento Jupateco 73S con 27 % y el menor Trap con 7 %, para el tratamiento sin fungicida Jupateco 73S presentó un 100 % de pérdidas y en menor grado Trap y Chapio con 17 % ambos, aquí el fungicida no causo efecto alguno, pero si los genes ya que aparte del *Lr34* se encuentran presentes 3 o 4 genes aditivos, esto concuerda con lo reportado por Singh *et al.*, (2003) quienes mencionan que la severidad de la roya de la hoja esta en función del número de genes que poseen los cultivares. En rendimiento de grano para el tratamiento con fungicida lo presentaron los genotipos Kambara (5865 kg), Esmeralda M86 (5122 kg) y Chapio (5041 kg) y sin fungicida Chapio (4939 kg), Juchi F2000 (4691 kg), Trap (4263 kg), Tukuru (4250) y Esmeralda M86 (4231 kg), los genotipos resistentes presentaron una diferencia de 400kg, comparado con los susceptibles que fue de 1400 kg, para ambos tratamientos con y sin fungicida.

Cuadro 10. Promedio general del rendimiento en los genotipos en tratamientos con y sin fungicida y porcentajes de pérdidas en Chapingo, México. P-V/2001.

Genotipos	CON FUNGICIDA			SIN FUNGICIDA			PÉRDIDAS EN %		
	DM	DMAF	REN	DM	DMAF	REN	DM	DMAF	REN
Tukuru	120	8	4702	118	18	4250	-1.6	-10	-10
Trap	120	7	4309	118	17	4263	-1.6	-10	-1
Chapio	118	8	5041	115	17	4939	-2.5	-9	-2
Esmeralda M86	120	23	5122	114	60	4231	-5	-37	-17
Amadina	107	10	3185	105	28	3074	-1.8	-18	-3
Juchi F2000	113	12	4783	114	33	4691	-0.8	-21	-2
Sonoita 81	114	22	3774	111	67	3119	-2.6	-55	-17
Mor/*2Kauz	121	10	3020	116	22	2277	-4.1	-12	-25
Kambara	115	8	5865	113	53	3874	-1.7	-45	-34
Nacozari M76	112	18	4731	109	72	4091	-2.6	-54	-13
Pavón F76	115	20	4600	114	87	3817	-0.8	-67	-17
Apache M81	114	18	4874	110	100	3302	-3.5	-82	-32
Rebeca F2000	120	20	3383	117	50	3602	-2.5	-30	6
Attila	112	15	4993	108	63	3448	-3.5	-48	-31
Baviacora M92	118	25	4658	112	93	2900	-5	-68	-37
Jupateco 73R	108	22	4007	107	63	3398	-0.9	-38	-15
Batán F96	113	18	3956	106	100	3441	-6.1	-82	-13
Jupateco 73S	108	27	3196	105	100	1794	-2.7	-73	-44

DF= Días a floración; DMAF= Daño máximo de área foliar; REN= Rendimiento del grano; PMG= Peso de mil granos; * Pérdidas absolutas.

Para el caso de las pérdidas absolutas obtenidas de la resta del tratamiento con fungicida menos el tratamiento sin fungicida, en días a madurez la diferencia fue de un día entre los genotipos resistentes (Tukuru y Trap) con 1.6 % y en los genotipos susceptible (Jupateco 73S) de 2.7 % y Batán F96 con 6.1 % (Figura 13).

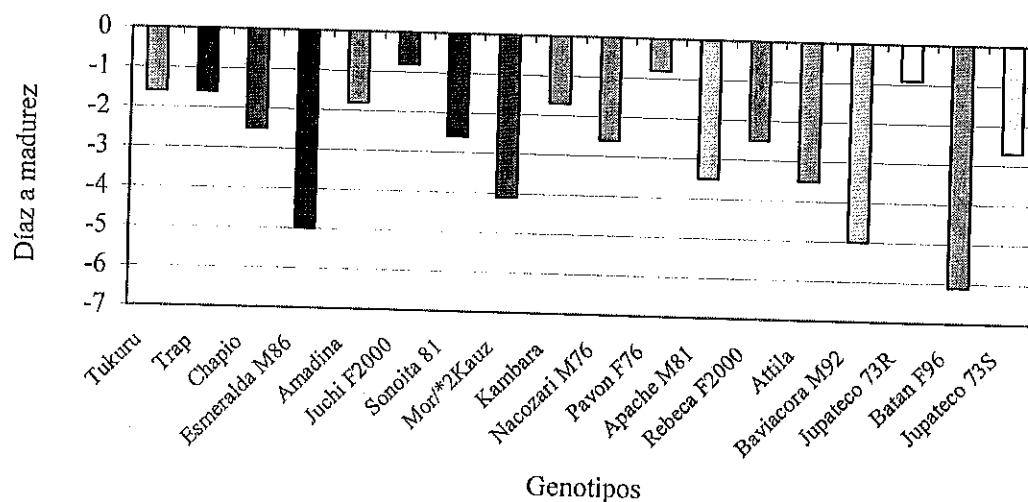


Figura 13. porcentaje de pérdidas promedio para la variable días a madurez.

El máximo daño foliar lo presentaron los genotipos Pavón F76 (67 %), Baviacora M92 (68 %), Jupateco 73S (73 %) y Batán F96 (82 %), mientras que el menor, lo mostraron los genotipos resistentes Chapio (9 %), Trap (10 %) y Tukurú (10 %) respectivamente (Figura 14).

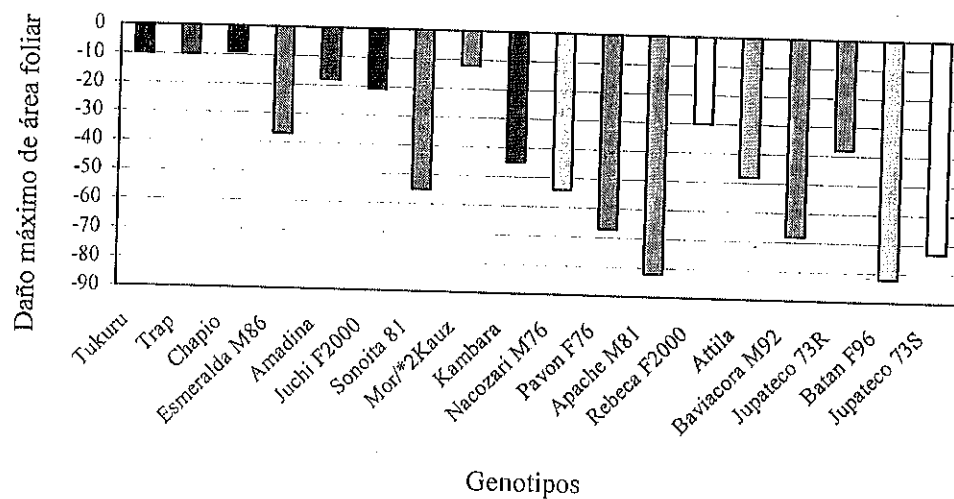


Figura 14. Porcentaje de pérdidas promedio para la variable daño máximo de área foliar.

Para las pérdidas en rendimiento de grano los genotipos que poseen en su fondo genético el gen *Lr34* + 3 genes Trap, Juchi F2000 y Chapio registraron pérdidas del 1 al 2 %, esto concuerda con lo reportado por Singh *et al.*, (2003) quienes mencionan que cultivares con *Lr34* y 3 ó 4 genes adicionales, muestran una respuesta muy estable al medio ambiente y cuya severidad final de la roya de la hoja ha sido menor del 5 % a pesar de una presión alta de la roya; pero sin embargo Amadina que contiene 4 genes sin presencia del gen *Lr34* perdió solamente 3 %, esto concuerda con Singh *et al.*, (2003) quienes mencionan que la resistencia se puede obtener aún cuando el gen no esta presente, comparados con el genotipo susceptible Jupateco 73S que tuvo una pérdida en su rendimiento del 44 % (Figura 15).

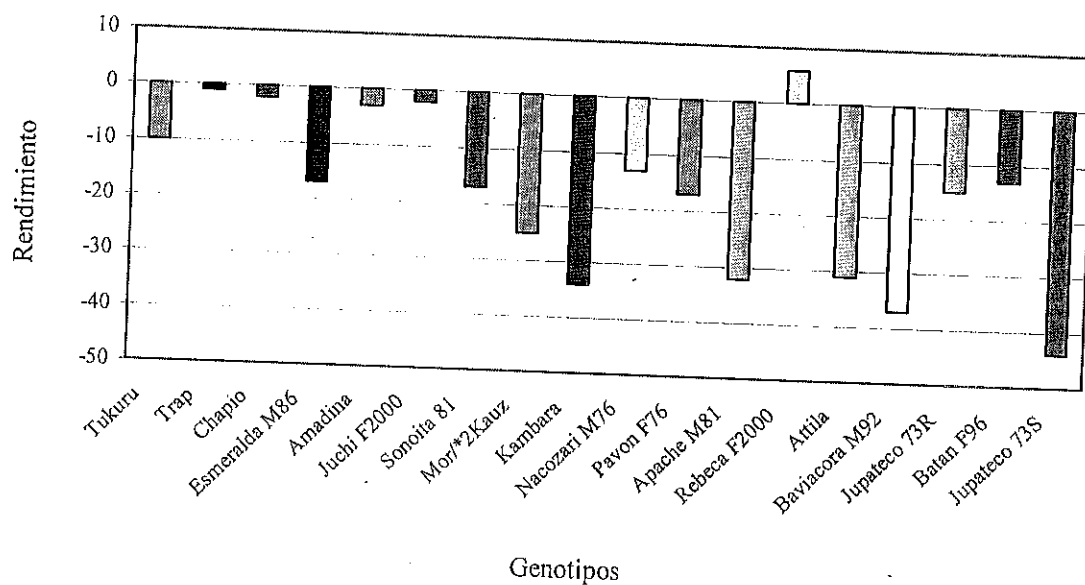


Figura 15. Porcentaje de pérdidas promedio para la variable rendimiento de grano.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados y los resultados obtenidos, se concluye que:

La presencia del gen *Lr34* genera cierto grado de resistencia ante el ataque de la roya de la hoja en los genotipos donde se haya formando parte de su fondo genético (Jupateco 73R) comparado con genotipos donde no se encuentra (Jupateco 73S).

A medida que se aumenta el número de genes en los genotipos, la resistencia se va haciendo mayor, al grado de obtener un cultivar que sea inmune al ataque de la roya de la hoja.

Genotipos de trigo que no poseen el gen *Lr34*, deben poseer de 3 a 4 genes de efecto aditivo para que la pérdida en rendimiento sea mínima.

VI. LITERATURA CONSULTADA

- Agrios, N. G. 1998. Fitopatología. Editorial Limusa, S. A. México. 838 p.
- Allard, R. W. 1960. Principles of plan breeding. New York, Wiley. 485 p.
- Anikster, Y., Bushnell, T. Eilam, J. Manisterski and A. P. Roelfs. 1997. *Puccinia recondita* Causing leaf rust on cultivated wheats, wild wheats and rye. Can J. Bot. 75: 2082-2096.
- Anónimo, 1988. Distrito de Desarrollo Rural No. 76 SARH, Texcoco, Estado de México. 57 p.
- Ayon, R. I. A. 1989. Identificación de enfermedades que atacan al trigo (*Triticum aestivum* L.) en Juchitepec, México y su incidencia en relación a las condiciones climáticas. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 67 p.
- Bayles, D. L. and F. J. Greaney. 1928. Dusting whit sulphur for the control of leaf and stem rust of wheat in Manitoba. Scient. Agric. 8:409-432.

- Benítez, R. I. 2000. Recombinación genética y selección en trigo. Pp. 123-150. En: Villaseñor, M. H. y E. Espitia (eds). El trigo de temporal. Libro técnico No. 1. SAGAR-INIFAP-CEVAMEX. Chapingo, México.
- Blanco, A. M. 1998. Efectos de enfermedades foliares fungosas en trigo (*Triticum aestivum* L.) de temporal. Tesis de Maestría en Ciencias en Protección Vegetal. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 125 p.
- Blanco, A. M. 1998. Efectos de enfermedades foliares fungosas en trigo (*Triticum aestivum* L.) de temporal. Tesis de Maestría en Ciencias en Protección Vegetal. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 125 p.
- Cáceres, A. E. A. 2001. Evaluación de pérdidas en genotipos mejorados de trigo (*Triticum aestivum* L.) por daño de enfermedades foliares causadas por hongos en ambientes de temporal en México. Tesis de Maestría en Ciencias en Protección Vegetal. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 81 p.
- Caldwell, R. H. 1968. Breeding for general and/or specific plant disease resistance. In: Proc. 3rd Int. Wheat Genetics Symp. Camberra (Australia). Pp. 263-272.

CIMMYT. 1976. Pathology. Pages 92-100 In: CIMMYT report of wheat improvement 1976. Annual report.

CIMMYT. 1977. International Maize and Wheat Improvement Center. CIMMYT report on wheat improvement. 1977. el Batán F96, México. Pp. 79-105.

Davis, D., L. Charlet, J. W. Rothrock, J. Deak, s. Halmos and J. D. Garber. 1960. Chemotherapy of cereal rust whit a new antibiotic. *Phytopathology* 50: 841-843.

Dent, D. 1991. Insect Pest Management. C. A. B. International. Redwood Press LTD. Wiltshire. 604 p.

Ellingboe, A. H. 1976. Genetics of host parasite interactions. In R. Heitefuss, P. H. Williams (eds) *Encyclopedia of plant physiology, NS. Vol. 4 Physiological. Plant Pathology*. Heidelberg, New York: Springer. pp 761-778.

- Eskes, A. B. 1983. Expression of incomplete resistance to pathogens. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Institute Agronomic of Campinas, SP, Brasil. In: Durable resistance in crops. Lamberti, F., Waller, J. M. y Van der Graaff, N. A. Plenum Press. Published in cooperation with NATO Scientific Affairs Division. Series A: Life Sciences, Vol. 55. New York and London. Pp. 169-195.
- Flores, H. A. 2001. Introducción a la genotecnia vegetal. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 131 p.
- Forsyth, F. R. and B. Peterson. 1958. Control of stem and leaf rusts of wheat with fungicides. Can. J. Pl. Sci. 38: 173-180.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen (para adaptarla a las condiciones de la República Mexicana) 4ª edición . UNAM, Instituto de geografía. México, D. F. 217 p
- Huerta-Espino, J. And a. P. Roelfs. 1988. *Puccinia recondita* avirulent on wheat cultivar Thatcher. Phytopathology. 78: 1596 .

- Huerta, E. J. y R.P. Singh. 2000. Las royas del trigo. Pp. 231-252. En : Villaseñor, M. H. y E. Espitia (eds). El trigo de temporal. Libro técnico No. 1. SAGAR-INIFAP-CEVAMEX. Chapingo, México. 315 p.
- INEGI. 1995. El sector alimentario en México. Aguascalientes, México. 316 p.
- Jonson, R. 1981. Durable disease resistance. In: Strategies for control of cereal disease. J. F. Jenkyn y r. T. Plumb. Blackwell, Oxford. Pp:55-56.
- Joshi, L. M., A. S. Prabhu and S. Singh. 1967. Controlling diseases of dwarf wheats. Indian farming. 17:46-47.
- Kohli, M. M.; Díaz, M.; Castro, M., (eds). 2003. Estrategias y metodologías utilizadas en el mejoramiento de Trigo. Seminario Internacional, La Estanzuela, Uruguay. CIMMYT-INIA. P. 109-118.
- Livingston, J. E. 1953. The control of leaf and stem rust o f wheat with chaemotherapeutants. Phytopathology 43: 496-499.

- Moreno G. R., y Alvarez B. M. 1984. Las royas del trigo en México. SARH-INIA. CIAMEC. Campo Agrícola Experimental Valle de México, Chapingo, México. Folleto No. 2. 17 p.
- Niederhauser, J. S., Cervantes J and Servin, L. 1954. Late blight in México and its implications. *Phytopathology*, 44:406-408.
- Oregon State University Extensión. 2000. Wheat (*Triticum aestivum* L.) Leaf Rust. An Oline Guide to Plant Disease Control. <http://plant-disease.orst.edu/>
- Painter, R. H. 1958. Resistance of plants to insects. *Ann. Rev. Entomol.* 3:267-290.
- Panda, N. And G. S. Khush. 1995. Host plant Resistance to insects. CAB International-International and Rice Research Institute. Wallingford. 431 p.
- Pinstrup-Andersen, P. 2000. The Future World Food Situation and the Role of Plant Diseases. 11 p. <http://www.scisoc.org/feature/FoodSecurity/Top.html>.

- Rios, R. F, y D. Cerecer. 1977. La roya o chahuixtle de la hoja de trigo (*Puccinia recondita*). Su incidencia en las regiones trigueras de México y la campaña para su control con fungicidas en 1977. Resultados de ensayos. Bayer de México, S. A. 38 p.
- Robinson, R. A. 1987. Manejo del hospedante en patosistemas agrícolas. R. García E., traductor. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco. Estado de México. 281 p.
- Robinson, R. A. 1996. Rescate de la resistencia. Fitomejoramiento de los cultivos para reducir la dependencia de plaguicidas. F. Romero R., traductor. AgAcces. Davis, CA. 290 p. International Development Research Center.
- Roelfs, A.P., R.P. Singh y E.E. Saari. 1992. Las royas del trigo: Conceptos y métodos para el manejo de esas enfermedades. México, D.F. CIMMYT. 81 p.
- Romero Cova, S. 1988. Hongos fitopatógenos. Chapingo, México. 347 p.
- Romero Cova, S. 1993. Hongos fitopatógenos. Chapingo, México. 354 p.

- Ruíz, L. M. J. 2001. Efecto de la roya de la hoja (*Puccinia triticina* E.) y la defoliación sobre el rendimiento del trigo (*Triticum aestivum* L.). Tesis profesional. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 45 p.
- Sahagún, C. J. 1998. Estadística descriptiva y probabilidad. Una perspectiva biológica. Chapingo, Estado de México. 341 p.
- SARH-DGSV. 1992. Guía Fitosanitaria para el cultivo del Trigo. México, D. F. 453 p.
- Simmonds, N. W. 1988. Synthesis: The Strategy of Rust Resistance Breeding. Edinburgh School Agriculture, Edinburgh, Scotland. In: Breeding Strategies for Resistance to the Rusts of Wheat. Simmonds, N. W. Rajaram. Centro de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México. Pp: 119-136.
- Singh, R. P. 1991. Pathogenicity variation of *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* and *P. graminis* f. sp. *tritici* in wheat-growing areas of México during 1988 and 1989. Plant Disease 75: 790-794.

- Singh, R. P., T. S. Payne, P. Figueroa, and S. Valenzuela. 1991. Comparison of the effect of leaf rust on the grain yield of resistant, partially resistant, and susceptible spring wheat cultivars. *American Journal of Alternative Agriculture*. 6:115-121.
- Singh, R. P., and Huerta-Espino, J. 1995. Inheritance of seedling and adult plant resistance leaf rust in wheat cultivars Ciano 79 and Papago 86. *Plant Disease*. 79:35-38.
- Singh, R. P., and Huerta-Espino, J. 1997. Effect of leaf rust resistance gene Lr34 on grain yield and agronomic traits of spring wheat. *Crop. Sci.* 37:390-395.
- Singh, R. P., J. Huerta-Espino y Rajaram, S. 2000. Achieving near immunity to leaf and stripe rusts in wheat by combining slow rusting resistance genes. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*. 35:133-139.
- Singh, R. P. y S. Rajaram. 1992. Genetic of adult-plant resistance to leaf rust in Frontana and three CIMMYT wheats. *Genome*. 35:24-31.

- Singh, R. P., Huerta-Espino y M. William. 2003. Resistencia durable a roya de la hoja y roya amarilla: genética y mejoramiento en el CIMMYT. In: Seminario Internacional. Estrategias y metodologías utilizadas en el mejoramiento de trigo. INIA CIMMYT. INIA La Estanzuela, Colonia Uruguay. p. 109-117.
- Singh, R. P., S. Rajaram y J. Huerta-Espino. 1999. Combinig additive genes for slow rusting type of resistance to leaf and stripe rusting in wheat. *In: The Tenth Regional Wheat Workshop for Eastern, central and Southern Africa*. Addis Ababa, Ethiopia: CIMMYT. pp:394-403.
- Smith, I. M. J. Dunez., D. H. Phillips, R. A. Lelliot., S. A. Archer. 1992. Manual de enfermedades de las plantas. Madrid, España. p 535-589.
- Stubbs,R. A, Prescott J. M, Saari E, y Dubin H. J. 1986. Manual de metodología sobre las enfermedades de los cereales. CIMMYT, México. 46 p.
- Teliz, O. D. 1988. Enfermedades del maíz, frijol, trigo y papa. Colegio de Postgraduados. Centro de Fitopatología, México.
- Van der Plank, J. E. 1963. Plant disease resistance: epidemics and control. Academic Press, New York. 349 p.

- Villaseñor M. H. y E. Espitia. 2000a. Características de las áreas productoras de trigo de temporal: problemática y condiciones de producción. Pp. 85-98. In. Villaseñor M., H. y E. Espitia. (eds). El trigo de temporal en México. Chapingo, Estado de México. México, SAGAR, INIFAP, CIRCE. Campo Experimental Valle de México. 315 p. (Libro Técnico No. 1).
- Villaseñor M. H y Espitia, E. 2000b. Mejoramiento genético de trigo para temporal. Pp. 19-122. In. Villaseñor, M. H. y E. Espitia (eds). El trigo de temporal en México. Chapingo, Estado de México. México, SAGAR-INIFAP-CIRCE. Campo Experimental Valle de México. 315 p. (Libro técnico No. 1.).
- Villaseñor, E. O. M. 2001. Análisis de la virulencia de la roya de la hoja (*Puccinia triticina* Ericks.) del trigo (*Triticum aestivum* L.) en los Valles altos de México. Tesis de Licenciatura. Departamento de Parasitología Agrícola. Chapingo, México. 44 p.
- Villeda, M. H. Y. 1998. Evaluación de cuatro fungicidas sistémicos para el control de la roya de la hoja del trigo (*Puccinia triticina* Ericks.) en el Valle del Yaqui sonora y el Batán F96 estado de México. Tesis de licenciatura. Departamento de Parasitología Agrícola. Chapingo, México. 63 p.

Wiese, M. V. 1986. Compendio de enfermedades del trigo. Sociedad americana de Fitopatología. St. Paul, MN. USA. 112 p.

Yamada K. Takahashi H. And Tanaka T. 1973. Studies on alternate host, *Thalictrum thumbergii* Dc., as an origin of physiologic races of wheat leaf rust, *Puccinia recondita* Roberge ex. Desm. f. sp. *tritici* in Japan. Rep. Tottori Mycol Inst. 10: 283-302.

Zadoks, J. C. y J. J. Bouwman. 1985. Epidemiology in Europe. In: The cereal rusts Vol. II; diseases, distribution, epidemiology and control. A. P. Roelfs y W. R. Bushnell. Academic Press, Orlando. Pp: 329-36.

VII. APENDICE

Cuadro 11. Cuadrados medios del análisis de varianza de los 18 genotipos de trigo evaluados con y sin fungicida en Tecamac, México. P-V/2001.

FV	GL	DF	DM	AP	DMAF	REN
REPETICIÓN	2	0.36	6.731	121.39	29.39	3701700.10
TRAT	1	2.08 ^{NS}	71.70**	0.14 ^{NS}	24600.92**	3375905.63**
GENOTIPO	17	34.29**	43.45**	457.21**	1412.03**	771187.51**
TRAT*GENOT	17	0.73 ^{NS}	2.52**	24.20 ^{NS}	555.33**	136950.17 ^{NS}
ERROR	70	0.86	0.85	20.29	25.35	161749.19
CV		1.47	0.81	7.02	18.75	17.63

TRAT= Tratamiento; REP= Repetición; GENOT= Genotipo; CV= Coeficiente de variación; GL= Grados de libertad; DF= Días a floración; DM= Días a maduración; AP= Altura de planta; DMAF= Daño máximo de área foliar; REN= Rendimiento.

Cuadro 12. Comparación de medias entre tratamientos para las variables directas en Tecamac, México. P-V/2001.

TRATAMIENTOS	DF	DM	AP	DMAF	REN
CON FUNGICIDA	63.00 a	114.07 a	64.18 a	11.75 b	2457.20 a
SIN FUNGICIDA	63.27 a	112.44 b	64.11 a	41.94 a	2103.60 b
DMHS (Tukey 5%)	0.35	0.35	1.72	1.93	154.37

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%). DF= Días a floración; DM= Días a maduración; AP= Altura de planta; DMAF= Daño máximo de área foliar; REN= Rendimiento.

Cuadro 13. Comparación de promedios de los genotipos para las variables directas con y sin fungicida en Tecamac, México. P-V/2001.

GENOTIPO	CON FUNGICIDA			SIN FUNGICIDA			% DE REDUCCIÓN		
	DM	DMAF	REN	DM	DMAF	REN	DM	DMAF	REN
Baviacora	118	15	2622	116	60	1831	-1.6	-45	-30.1
Jupateco 73S	112	28	1883	107	97	1202	-4.4	-69	-36.1
Jupateco 73R	113	17	2831	111	47	2230	-1.7	-30	-21.2
Nacozari M76	110	10	2196	108	43	2239	-1.8	-33	+1.9
Sonoita 81	112	12	2302	108	60	1781	-3.5	-48	-22.1
Trap	117	5	2280	116	10	2352	-0.8	-5	+3.1
Mor/*2Kauz	115	7	1707	115	18	1650	-0.8	-11	-3.3
Chapio	114	7	2594	113	23	2502	-0.8	-16	-3.5
Esmeralda M86	112	20	2567	109	70	1874	-2.6	-50	-26.9
Pavon F76	115	15	2643	113	73	2133	-1.7	-58	-19.2
Apache M81	117	12	1944	115	40	1637	-1.7	-28	-15.7
Amadina	111	7	2780	110	23	2328	-0.9	-16	-16.2
Juchi	113	7	2648	113	20	2474	-0.8	-13	-6.5
Batán F96	112	18	2711	110	67	2359	-1.7	-49	-12.9
Tukuru	115	7	2554	114	10	2563	-0.8	-3	+0.3
Kambara	116	7	2587	116	17	2365	-0.8	-10	-8.5
Rebeca	118	12	2030	116	40	1889	-1.6	-28	-6.9
Attila	113	8	3350	113	37	2456	-0.8	-29	-26.6

DM= Días a maduración; DMAF= Daño máximo de área foliar; REN= Rendimiento.

Cuadro 14. Cuadrados medios del análisis de varianza de 18 genotipos de trigo evaluados con y sin fungicida en Zotoluca, Tlaxcala. P-V/2001.

FV	GL	DF	DM	AP	DMAF	REN
REPETICIÓN	2	1.81	1.77	266.78	69.67	3183992.91
TRAT	1	2.67*	41.56**	10.70 ^{NS}	26602.08**	1605195.47**
GENOTIPO	17	27.02**	41.27**	243.50**	1490.59**	698870.46**
TRAT*GENOT	17	1.12 ^{NS}	2.21**	35.38 ^{NS}	834.92**	140867.22 ^{NS}
ERROR	70	0.64	0.94	26.44	31.34	181157.22
CV		1.25	0.84	6.79	22.60	14.77

TRAT= Tratamiento; REP= Repetición; GENOT= Genotipo; CV= Coeficiente de variación; GL= Grados de libertad; DF= Días a floración; DM= Días a maduración; AP= Altura de planta; DMAF= Daño máximo de área foliar; REN= Rendimiento.

Cuadro 15. Comparación de medias entre tratamientos para las variables directas en Zotoluca, Tlaxcala. P-V/2001.

TRATAMIENTOS	DF	DM	AP	DMAF	REN
CON FUNGICIDA	63.74 b	115.42 a	75.96 a	9.07 b	3003.19 a
SIN FUNGICIDA	64.05 a	114.18 b	75.33 a	40.46 a	2759.36 b
DMHS (Tukey 5%)	0.30	0.37	1.97	2.14	163.37

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%). DF= Días a floración; DM= Días a maduración; AP= Altura de planta; DMAF= Daño máximo de área foliar; REN= Rendimiento.

Cuadro 16. Comparación de promedios de los genotipos para las variables directas con y sin fungicida en Zotoluca, Tlaxcala. P-V/2001.

GENOTIPO	CON FUNGICIDA			SIN FUNGICIDA			% DE REDUCCION		
	DM	DMAF	REN	DM	DMAF	REN	DM	DMAF	REN
Baviacora	119	10	3135	117	53	2615	-1.6	- 43	-16.5
Jupateco 73S	113	13	3311	110	100	2528	-2.6	- 87	-23.3
Jupateco 73R	114	12	3676	112	46	3148	-1.7	- 34	-14.3
Nacozari M76	113	10	2863	111	50	2581	-1.7	- 40	-9.8
Sonoita 81	112	12	3502	111	75	2959	-0.8	- 63	-15.5
Trap	119	0	2807	119	7	2856	-0.8	- 7	+1.7
Mor/*2Kauz	117	3	2337	115	13	2361	-1.7	- 10	+1
Chapio	114	0	3174	116	10	2844	+1.7	- 10	-10.3
Esmeralda	114	17	3296	111	75	2937	-2.6	- 58	-10.8
Pavon F76	117	17	3780	115	73	3346	-1.7	- 56	-11.4
Apache M81	119	10	2409	117	40	2641	-1.6	- 30	+9.6
Amadina	113	8	2441	113	18	2706	-0.8	- 10	+10.8
Juchi	115	5	3350	114	23	3226	-0.8	- 18	-3.7
Batán F96	112	12	2702	112	53	2117	-0.8	- 41	-21.6
Tukuru	115	5	2681	115	13	2467	-0.8	- 8	-7.9
Kambara	118	8	2752	117	17	2826	-0.8	- 9	+2.6
Rebeca	120	12	3113	118	40	2709	-1.6	- 28	-12.9
Attila	113	10	2728	113	20	2802	-0.8	-10	+2.7

DM= Días a maduración; DMAF= Daño máximo de área foliar; REN= Rendimiento.

Cuadro 17. Cuadrados medios del análisis de varianza de 18 genotipos de trigo evaluados con y sin fungicida en Coatepec, México. P-V/2001.

FV	GL	DF	DM	AP	DMAF	REN
REPETICIÓN	2	0.67	0.39	1.62	102.77	6497970.96
TRAT	1	1.81 ^{NS}	75.71**	3.70 ^{NS}	9337.03**	4258001.82*
GENOTIPO	17	1.38**	51.69**	229.84**	1558.33**	2104523.05**
TRAT*GENOT	17	0.93 ^{NS}	1.47 ^{NS}	37.03 ^{NS}	481.15**	483174.30 ^{NS}
ERROR	70	1.21	1.26	28.76	28.25	686661.44
CV		1.69	0.99	6.78	18.94	17.20

TRAT= Tratamiento; REP= Repetición; GENOT= Genotipo; CV= Coeficiente de variación; FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; DF= Días a floración; DM= Días a maduración; AP= Altura de planta; DMAF= Daño máximo de área foliar; REN= Rendimiento.

Cuadro 18. Comparación de medias entre tratamientos para las variables directas en Coatepec, México. P-V/2001.

TRATAMIENTOS	DF	DM	AP	DMAF	REN
CON FUNGICIDA	64.83 a	114.16 a	79.25 a	11.57 b	5014.4 a
SIN FUNGICIDA	65.09 a	112.50 b	78.88 a	44.53 a	4617.3 b
DMHS (Tukey 5%)	0.42	0.43	2.05	2.04	318.07

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%). DF= Días a floración; DM= Días a maduración; AP= Altura de planta; DMAF= Daño máximo de área foliar; REN= Rendimiento

Cuadro 19. Comparación de promedios de los genotipos para las variables directas con y sin fungicida en Coatepec, México. P-V/2001.

GENOTIPO	CON FUNGICIDA			SIN FUNGICIDA			% DE REDUCCION		
	DM	DMAF	REN	DM	DMAF	REN	DM	DMAF	REN
Baviacora	117	17	5852	115	57	4981	-1.7	- 40	-14.8
Jupateco 73S	111	33	4491	107	100	3917	-3.6	- 63	-12.7
Jupateco 73R	112	18	4602	110	67	4213	-1.7	- 49	-8.4
Nacozari M76	108	10	4648	108	47	4630	-0.9	- 37	-0.3
Sonoíta 81	113	15	5537	111	67	4833	-1.7	- 52	-12.7
Trap	119	2	4287	118	17	4693	-0.8	- 15	+9.4
Mor/*2Kauz	118	5	4444	116	22	4259	-1.6	- 17	-4.1
Chapio	115	2	5991	115	15	6296	-0.8	- 13	+5
Esmeralda M86	114	13	5944	112	60	5046	-1.7	- 47	-15.1
Pavon F76	116	17	5537	113	67	5000	-2.5	- 50	-9.6
Apache M81	112	15	4675	111	77	4343	-0.8	- 62	-7.1
Amadina	111	5	4528	110	20	4139	-0.9	- 15	-8.5
Juchi	113	8	4972	112	22	5130	-0.8	- 14	+3.1
Batán F96	112	15	4037	110	50	3269	-1.7	- 35	-19
Tukuru	116	3	5074	115	17	3639	-0.8	- 14	-28.2
Kambara	117	5	5019	116	27	5296	-0.8	- 22	+5.5
Rebeca	117	13	5870	115	40	4500	-1.7	- 27	-23.3
Attila	112	12	4750	110	33	4657	-1.7	- 21	-1.9

DM= Días a maduración; DMAF= Daño máximo de área foliar; REN= Rendimiento

Cuadro 20. Cuadrados medios del análisis de varianza de 18 genotipos de trigo evaluados con y sin fungicida en Apan, Hidalgo. P-V/2001.

FV	GL	DF	DM	AP	DMAF	REN
REPETICIÓN	2	12.03	1.56	70.33	126.62	2284298.98
TRAT	1	3.70 ^{NS}	96.33**	11.34 ^{NS}	22678.00**	2596077.96**
GENOTIPO	17	86.40**	58.32**	278.55**	1560.19**	660653.72*
TRAT*GENOT	17	1.70 ^{NS}	2.98 ^{NS}	12.87 ^{NS}	581.44**	225938.76 ^{NS}
ERROR	70	1.92	2.06	16.54	43.52	330027.96
CV		2.03	1.25	5.17	20.68	16.91

TRAT= Tratamiento; REP= Repetición; GENOT= Genotipo; CV= Coeficiente de variación; GL= Grados de libertad; DF= Días a floración; DM= Días a maduración; AP= Altura de planta; DMAF= Daño máximo de área foliar; REN= Rendimiento.

Cuadro 21. Comparación de medias entre tratamientos para las variables directas en Apan, Hidalgo. P-V/2001.

TRATAMIENTOS	DF	DM	AP	DMAF	REN
CON FUNGICIDA	68.00 b	114.98 a	78.28 a	17.40 a	3551.7 a
SIN FUNGICIDA	68.37 a	113.09 b	78.90 a	46.38 b	3241.7 b
DMHS (Tukey 5%)	0.53	0.55	1.56	2.53	220.51

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%). DF= Días a floración; DM= Días a maduración; AP= Altura de planta; DMAF= Daño máximo de área foliar; REN= Rendimiento.

Cuadro 22. Comparación de promedios de los genotipos para las variables directas con y sin fungicida en Apan, Hidalgo. P-V/2001.

GENOTIPO	CON FUNGICIDA			SIN FUNGICIDA			% DE REDUCCION		
	DM	DMAF	REN	DM	DMAF	REN	DM	DMAF	REN
Baviacora	118	18	3839	115	73	3222	-2.5	-55	-16
Jupateco 73S	115	33	3350	108	90	2648	-6	-57	-20.9
Jupateco 73R	115	23	3424	110	60	3689	-4.3	-37	+7.7
Nacozari M76	110	15	3348	108	37	3324	-1.8	-22	-0.7
Sonoita 81	113	17	3726	110	73	3194	-2.6	-56	-14.2
Trap	117	8	3254	115	18	3478	-1.7	-10	+6.8
Mor/*2Kauz	114	12	3485	113	25	3146	-0.8	-13	-9.7
Chapio	113	12	3704	113	15	3446	-0.8	-3	-6.9
Esmeralda M86	114	20	3500	113	57	2907	-0.8	-37	-16.9
Pavon F76	116	25	4396	114	87	3252	-1.7	-62	-26
Apache M81	120	30	3876	118	73	3220	-1.6	-43	-16.9
Amadina	112	17	3070	111	37	3085	-0.8	-20	+0.4
Juchi	113	12	3672	112	18	3744	-0.8	-6	+1.9
Batán F96	112	18	3722	110	53	3324	-1.7	-35	-10.6
Tukuru	118	8	2776	118	13	2109	-0.8	-5	-24
Kambara	118	12	3557	118	22	3737	-1.6	-10	+5
Rebeca	120	22	3952	118	53	3650	-1.6	-31	-7.6
Attila	112	12	3280	111	30	3172	-0.8	-18	-3.2

DM= Días a maduración; DMAF= Daño máximo de área foliar; REN= Rendimiento.