

# ROYA LINEAL, FENOLOGÍA, RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES EN TRIGO HARINERO (*Triticum aestivum* L.)

## STRIPE RUST, PHENOLOGY, YIELD AND YIELD COMPONENTS IN BREAD WHEAT (*Triticum aestivum* L.)

Ernesto Solís-Moya<sup>1</sup>, Julio Huerta-Espino<sup>2</sup>, H. Eduardo Villaseñor-Mir<sup>2</sup> y G. Armando Aguado-Santracruz<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Trigo. Campo Experimental Bajío. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Apartado Postal 112. 38000 Celaya Guanajuato, México. (inifapsolis@prodigy.net.mx). <sup>2</sup>Programa de Trigo, Campo Experimental Valle de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Apartado Postal No. 10. 56230 Chapingo Estado de México. Unidad de Biotecnología, Campo Experimental Bajío, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Apartado Postal 112. 38000 Celaya Guanajuato, México.

### RESUMEN

En El Bajío, México, la roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* Eriks.) es el problema principal de las siembras comerciales de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) en el ciclo otoño invierno. El presente estudio se efectuó para evaluar el efecto de la roya lineal amarilla sobre la fenología de la planta de trigo harinero, el rendimiento y sus componentes. Se realizaron cuatro experimentos en dos fechas de siembra (1 y 16 de diciembre de 1998): dos con la presión de la roya lineal amarilla y dos libres de ella mediante control químico. Se evaluaron 250 genotipos de los cuales 240 fueron familias F<sub>5</sub> derivadas de siete ciclos de selección recurrente y los otros diez fueron variedades comerciales. Se usó un diseño experimental alfa látice, de 25 bloques incompletos, sublotos de 10 genotipos y dos repeticiones. De acuerdo con el porcentaje de severidad, los materiales se clasificaron en cinco categorías: 0-20, 21-40, 41-60, 61-80 y 81-100. La roya disminuyó el ciclo del trigo desde la etapa de grano masoso ( $p \leq 0.05$ ) y el rendimiento en 41.7 y 43.3% ( $p \leq 0.05$ ) en la primera y segunda fecha de siembra, en los genotipos con severidad de 81 a 100%. En el ambiente óptimo de producción (1 de diciembre) la roya lineal amarilla alcanzó 100% de severidad en los genotipos susceptibles, en la etapa de grano lechoso, afectando sólo el componente peso del grano. En la siembra del 16 de diciembre esta condición se alcanzó en una etapa anterior (75% de grano formado), lo cual redujo el número de granos por metro cuadrado y el peso del grano. De los componentes que generan el número de granos por unidad de superficie (granos por espiga y espigas por metro cuadrado) el número de granos por espiga fue afectado en mayor medida ( $p \leq 0.05$ ), debido a que la mayor severidad de la roya ocurrió después del espigamiento, etapa en que se había establecido el número de espigas fértiles por unidad de superficie.

**Palabras clave:** Biomasa, índice de cosecha, número de granos por metro cuadrado, roya lineal amarilla, peso del grano.

Recibido: Marzo, 2006. Aprobado: Marzo, 2007.  
Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 41: 563-573. 2007.

### ABSTRACT

In El Bajío, México, yellow stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* Eriks.) is the main problem of the commercial bread wheat (*Triticum aestivum* L.) crops in the fall-winter cycle. The present study was carried out to evaluate the effect of yellow stripe rust on the phenology of the bread wheat plant, yield and its components. Four experiments were conducted on two sowing dates (December 1 and 16 of 1998): two with the pressure of yellow stripe rust and two free of it by means of chemical control. An evaluation was made of 250 genotypes, of which 240 were families F<sub>5</sub> derived from seven cycles of recurrent selection and the other ten were commercial varieties. The experimental design was alpha lattice, of 25 incomplete blocks, sublots of 10 genotypes and two replicates. According to the percentage of severity, the materials were classified in five categories: 0-20, 21-40, 41-60, 61-80 and 81-100. The rust reduced the cycle of the wheat from the dough grain stage ( $p \leq 0.05$ ) and the yield in 41.7 and 43.3% ( $p \leq 0.05$ ) on the first and second date of sowing, in the genotypes with severity from 81 to 100%. In the optimum production environment (December 1) the yellow stripe rust reached 100% severity in the susceptible genotypes, in the milky grain stage, affecting only the grain weight component. In the sowing of December 16, this condition was reached at an earlier stage (75% of grain formed), which reduced the number of grains per square meter and the grain weight. Of the components that generate the number of grains per surface unit (grains per spike and spikes per square meter), the number of grains per spike was affected to a higher degree ( $p \leq 0.05$ ), due to the fact that the highest severity of the rust occurred after heading, stage in which the number of fertile spikes per surface unit had already been established.

**Key words:** Biomass, harvest index, number of grains per square meter, yellow stripe rust, grain weight.

### INTRODUCTION

Yellow stripe rust *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* Eriks., is one of the principal diseases of wheat (*Triticum aestivum* L., and *Triticum durum*

## INTRODUCCIÓN

La roya lineal amarilla *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* Eriks., es una de las principales enfermedades del trigo (*Triticum aestivum* L., y *Triticum durum* Desf.) y también afecta cebada (*Hordeum vulgare* L.), centeno (*Secale cereale* L.) y pastos (McIntosh, 1998). El hongo causante de esta enfermedad en trigo es un patógeno de baja temperatura y constituye un problema importante en lugares donde prevalece el clima fresco y húmedo como el noroeste de Europa, las regiones montañosas de Sudamérica y el Este de África (Stubbs, 1988). Las temperaturas mínima, óptima y máxima para la germinación de las esporas son 0, 11 y 23 °C (Roelfs *et al.*, 1992). En México, la roya lineal existe en la región de El Bajío (Guanajuato, Michoacán, Jalisco y Querétaro) y es importante en la mesa central (Estado de México, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla) (Salazar-Gómez, 1992). Las royas se pueden controlar con aspersiones de fungicidas, pero aumentan los costos de cultivo y los daños al ambiente (Sandoval *et al.*, 1999). La resistencia genética, a través de la generación de variedades resistentes, es la medida de control más segura, económica y ambiental (Ma *et al.*, 1997), aunque a menudo la protección es efímera ya que las poblaciones del hongo responden a las presiones de selección generadas por variedades resistentes produciendo genotipos que vencen la resistencia, particularmente cuando se utilizan genes de raza específica. Con los cambios en las poblaciones del patógeno, el mejoramiento para la resistencia genética del trigo debe ser una actividad continua (Schafer, 1987). La roya lineal amarilla es una enfermedad que causa daños importantes en trigo en el mundo (Zwer y Qualset, 1994); las pérdidas en rendimiento pueden ser de 30% a 75% (Torabi y Nazari, 1998; Roelfs, 1978). La reducción del rendimiento por la roya de la hoja depende de la etapa fenológica en que se alcance 100% de infección; así, entre el estado de plántula y el amacollamiento, la pérdida es 95%, en encañe 70%, en embuche 50%, en floración 35%, en estado lechoso del grano 20%, y en estado masoso del grano 10% (Chester, 1946).

Las royas atacan las hojas, tallos y espigas de las plantas reduciendo la cantidad y composición de los productos fotosintéticos disponibles para el desarrollo del grano (Cox *et al.*, 1997). Las pérdidas en rendimiento se deben generalmente a la falta de llenado del grano, pero cuando la enfermedad es severa antes del embuche, también puede disminuir el número de macollos (Roelfs *et al.*, 1992). El desarrollo temprano de la roya amarilla probablemente afecta el número de granos, mientras que en etapas de crecimiento tardías afecta el peso del grano (Schultz y Line, 1992). Se ha

Desf.), and also affects barley (*Hordeum vulgare* L.), rye (*Secale cereale* L.) and grasses (McIntosh, 1998). The fungus which causes this disease in wheat is a low temperature pathogen and represents an important problem in places where the prevailing climate is cool and moist such as northeastern Europe, the mountainous regions of South America and East Africa (Stubbs, 1988). The minimum, optimum and maximum temperatures for germination of the spores are 0, 11 and 23 °C (Roelfs *et al.*, 1992). In México, stripe rust exists in the region of El Bajío (Guanajuato, Michoacán, Jalisco and Querétaro) and is important in the central high plain (State of México, Hidalgo, Tlaxcala and Puebla) (Salazar-Gómez, 1992). The rusts can be controlled with fungicide sprayings, but this increases the costs of cultivation and damage to the environment (Sandoval *et al.*, 1999). Genetic resistance, through the generation of resistant varieties, is the safest, most economical and environmental means of control (Ma *et al.*, 1997), although the protection is often ephemeral, given that the fungus populations respond to the selection pressures generated by resistant varieties, producing genotypes that overcome the resistance, particularly when genes of specific race are used. With the changes in the populations of the pathogen, breeding for the genetic resistance of wheat should be a continuous activity (Schafer, 1987). Yellow stripe rust is a disease that causes important damages in wheat throughout the world (Zwer and Qualset, 1994); the losses in yield can be as much as 30% to 75% (Torabi and Nazari, 1998; Roelfs, 1978). The reduction in yield due to stripe rust of the leaf depends on the phenological stage in which 100% infection is reached; thus, between the seedling stage and tillering, the loss is 95%, in stalk formation 70%, in booting 50%, in flowering 35%, in milky stage of the grain 20%, and in dough stage of the grain, 10% (Chester, 1946).

The rusts attack the leaves, stems and spikes of the plants, reducing the quantity and composition of the photosynthetic products available for the development of the grain (Cox *et al.*, 1997). The losses in yield are generally due to the lack of grain filling, but when the disease is severe prior to booting, the number of tillers may also be decreased (Roelfs *et al.*, 1992). The early development of stripe rust probably affects the number of grains, while in late growth stages, grain weight is affected (Schultz and Line, 1992). It has been determined that grain yield is more related to the number of grains per surface unit than to their individual weight (Calderini *et al.*, 1999). Thus, environmental stress prior to anthesis causes more damage to yield than when it occurs after this stage (Slafer and Savin, 1994). Fischer (1985) showed that the shading of the wheat 20 to 30 d prior to anthesis significantly reduced the

determinado que el rendimiento del grano está más relacionado con el número de granos por unidad de superficie que con su peso individual (Calderini *et al.*, 1999). Así, el estrés ambiental antes de antesis causa mayor detrimento en el rendimiento que cuando ocurre después de dicha etapa (Slafer y Savin, 1994). Fischer (1985) mostró que el sombreado del trigo de 20 a 30 d antes de antesis disminuyó significativamente el número de granos por unidad de superficie. Ello se debe a que este carácter está determinado por un período corto que coincide con la muerte de macollos y flores y con el crecimiento activo de la espiga (Slafer *et al.*, 1996).

En México existe poca información con respecto al efecto de las royas sobre el rendimiento del grano del trigo y aún es más escasa para la roya lineal amarilla. En el Bajío, la roya lineal amarilla alcanza 100% de severidad en algunas variedades de trigo sembrado comercialmente. Estudiar como afecta el rendimiento y sus componentes en diferentes niveles de severidad proporcionará información que permita sugerir o no el uso de pesticidas para su control. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la roya sobre la fenología y el rendimiento de grano y sus componentes en 250 genotipos de trigo. La hipótesis fue que la disminución del rendimiento se debe más a la reducción del peso del grano que al número de granos por unidad de superficie.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en Roque, Celaya, Guanajuato (20° 32' N; 100° 48' O; 1752 m) con precipitación y temperatura media anuales de 578 mm y 19.8 °C (Terrones-Rincón *et al.*, 2000). El material genético se formó por el cruzamiento de una población segregante con 50% de plantas androestériles, con las variedades Pavón F76, Seri M82, Gálvez M87, Temporalera M87, Arandas F90 y Batán F96. De esta cruce múltiple se hicieron siete ciclos de selección y cada ciclo se avanzó hasta la generación F<sub>5</sub> donde se seleccionaron 30 familias por ciclo. En las 240 familias F<sub>5</sub> derivadas, 30 por ciclo y la población original y en diez variedades comerciales, cinco de ellas las variedades que dieron origen a la población, y cinco testigos locales (Salamanca S75, Saturno S86, Cortazar S94, Eneida F94 y Bárcenas F2002). Se midió en condiciones de riego el daño causado por la roya lineal amarilla y su efecto sobre la fenología, el rendimiento y sus componentes (espigas por metro cuadrado, granos por espiga, granos por metro cuadrado y peso del grano). En 1998 se sembraron dos experimentos, el 1 y 16 de diciembre; en cada fecha de siembra se mantuvo la mitad del experimento con ataque de roya lineal amarilla y en la otra mitad se controló la enfermedad mediante dos aplicaciones de Folicur 250 CE (Tebuconazole 125 g i.a ha<sup>-1</sup>). Se usó un diseño experimental alfa láctico, de 25 bloques incompletos, sublotos de 10 genotipos y dos repeticiones. La parcela experimental constó de cuatro surcos de

number of grains per surface unit. This is due to the fact that this character is determined by a short period which coincides with the death of tillers and flowers and with the active growth of the spike (Slafer *et al.*, 1996).

In México, there is little information with respect to the effect of the rusts on the grain yield of wheat, and is even scarcer for yellow stripe rust. In the Bajío, yellow stripe rust reaches 100% severity in some varieties of commercially sown wheat. The study of how it affects yield and its components in different levels of severity will provide information that will make it possible to suggest whether or not to use pesticides for its control. The objective of the present study was to evaluate the effect of stripe rust on the phenology and yield of grain and its components in 250 wheat genotypes. The hypothesis was that the reduction in yield is due more to the reduction of grain weight than to the number of grains per surface unit.

## MATERIALS AND METHODS

The present work was carried out in Roque, Celaya, Guanajuato (20° 32' N; 100° 48' W; 1752 m) with mean annual precipitation and temperature of 578 mm and 19.8 °C (Terrones-Rincón *et al.*, 2000). The genetic material was formed by the crossing of a segregating population with 50% of androsterile plants, with the varieties Pavón F76, Seri M82, Gálvez M87, Temporalera M87, Arandas F90 and Batán F96. From this multiple cross, seven selection cycles were made and each cycle advanced up to generation F<sub>5</sub>, in which 30 families per cycle were selected. In the 240 F<sub>5</sub> families derived, 30 per cycle and the original population and in 10 commercial varieties, five of them the varieties that gave origin to the population, and five local controls (Salamanca S75, Saturno S86, Cortazar S94, Eneida F94 and Bárcenas F2002). The damage caused by yellow stripe rust was measured under irrigation conditions, along with its effect on the phenology, yield and its components (spikes per square meter, grains per spike, grains per square meter and grain weight). In 1998 two experiments were sown, on December 1 and 16; on each sowing date half of the experiment was maintained with the attack of yellow stripe rust and in the other half the disease was controlled with two applications of Folicur 250 CE (Tebuconazole 125 g i.a ha<sup>-1</sup>). The experimental design was alpha lattice, of 25 incomplete blocks, sublots of 10 genotypes and two replicates. The experimental plot consisted of four rows three meters long with 30 cm separation, leaving a free row between plots to facilitate the readings of the rust. The plots were separated by avenues of 1 meter width.

In the experiments without chemical control of rust, seeds were sown in the avenues of the Morocco variety, which is highly susceptible to yellow stripe rust (Broers, 1997), so that the plants could serve as disseminators of the disease. The Morocco seedlings were inoculated 28 d after sowing (growth stage 21-30, of the decimal code of Zadoks *et al.*, 1974), through the injection of 0.5 mL of a suspension of spores of the pathotype 96.11 of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*,

tres metros de largo y 30 cm de separación, dejando un surco libre entre parcelas para facilitar la toma de lecturas de roya. Las parcelas fueron separadas por calles de un metro de ancho.

En los experimentos sin control químico de la roya, se sembraron en las calles semillas de la variedad Moroco, altamente susceptible a la roya lineal amarilla (Broers, 1997), para que las plantas sirvieran como diseminadoras de la enfermedad. Las plántulas de Moroco se inocularon 28 d después de la siembra (estado de crecimiento 21-30, del código decimal de Zadoks *et al.*, 1974) mediante la inyección de 0.5 mL de una suspensión de esporas del patotipo 96.11 de *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, que tiene la siguiente fórmula de avirulencia/virulencia *Yr1*, 4, 5, 8, 15, 17/2, 3, 6, 7, 9, 10, 27, con base en las líneas diferenciales derivadas de Avocet (Singh *et al.*, 2000). La suspensión inyectada se preparó con aproximadamente 2 g esporas liofilizadas L<sup>-1</sup> agua, más seis gotas de Tween 20. Se hicieron lecturas por parcela de la severidad de la roya lineal amarilla con base en la escala modificada de Cobb (Peterson *et al.*, 1948). Las lecturas se tomaron con intervalos de una semana, desde la aparición de los primeros síntomas de la roya en la hoja bandera hasta que el genotipo más susceptible llegó al 100% de daño, lo cual sucedió cuatro semanas después de la inoculación. Las familias más susceptibles mostraron los síntomas de la enfermedad en hoja bandera a los 83 d después de la siembra en la primera fecha y a los 76 d en la segunda.

De acuerdo al porcentaje de severidad alcanzado a la cuarta semana, los materiales se clasificaron en cinco categorías: 0-20, 21-40, 41-60, 61-80 y 81-100%. Se registraron las siguientes etapas fenológicas en número de días: amacollo (inicio), encañe (aparición del primer nudo), embuche (espiga envuelta por la vaina de la hoja bandera y barbas visibles), espigamiento (emisión completa de al menos 50% de las espigas en la parcela), floración (DF) (anteras visibles en al menos 50% de las espigas), grano lechoso (en la porción central de la espiga y en al menos 50% de las espigas, el endospermo es de apariencia lechosa), grano masoso (los granos de la porción central de la espiga contienen endospermo sólido) y madurez fisiológica (DM) (la hoja bandera y el cuello de la espiga muestran color amarillento). Además, se determinaron las siguientes variables fisiológicas y componentes del rendimiento: 1) rendimiento de grano (RG), de la cosecha del total de la parcela útil; 2) índice de cosecha (IC) mediante el cociente TRG/TRB, donde TRG=rendimiento de grano de 25 tallos de la parcela, TRB=rendimiento biológico de 25 tallos de la parcela, 3) biomasa (Bio t ha<sup>-1</sup>), calculada como RG t ha<sup>-1</sup> IC<sup>-1</sup>; 4) espigas por metro cuadrado (EPM2), igual a Bio g m<sup>-2</sup> TRB g<sup>-1</sup>; 5) peso del grano (PG, mg), producto del peso de 200 granos×5/1000; 6) granos por metro cuadrado (GPM2), igual a RG g m<sup>-2</sup> peso del grano mg<sup>-1</sup>; 7) granos por espiga (GPE), mediante el cociente GPM2/EPM2.

Se realizaron comparaciones, con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) de las medias de cada nivel de severidad en cada fecha de muestreo; entre tratamientos con y sin roya para cada nivel de severidad por etapa fenológica; entre medias de rendimiento con y sin roya para cada nivel de severidad por fecha de siembra; entre las medias de rendimiento con y sin roya de las variedades testigo por fecha de siembra; entre medias de índice de cosecha, biomasa, número de

which has the following formula of avirulence/virulence *Yr1*, 4, 5, 8, 15, 17/2, 3, 6, 7, 9, 10, 27, based on the differential lines derived from Avocet (Singh *et al.*, 2000). The injected suspension was prepared with approximately 2 g of lyophilized spores L<sup>-1</sup> water, plus six drops of Tween 20. Readings were made per plot of the severity of the yellow stripe rust based on the modified Cobb scale (Peterson *et al.*, 1948). The readings were made with intervals of one week, from the appearance of the first symptoms of the rust in the flag leaf until the most susceptible genotype reached 100% damage, which occurred four weeks after inoculation. The most susceptible families presented the symptoms of the disease in flag leaf 83 d after sowing in the first date and at 76 d in the second.

According to the percentage of severity reached at the fourth week, the materials were classified in five categories: 0-20, 21-40, 41-60, 61-80 and 81-100%. The following phenological stages were registered in number of days: tillering (onset), stalk formation (appearance of the first node), booting (spike enclosed by the pod of the flag leaf and visible awns), heading (complete emission of at least 50% of the spikes in the plot), flowering (DF) (anthers visible in at least 50%), milky grain (in the central portion of the spike and in at least 50% of the spikes, the endosperm has a milky appearance), dough grain (the grains of the central portion of the spike contain solid endosperm) and physiological maturity (DM) (the flag leaf and the neck of the spike have a yellowish color). In addition, the following physiological variables and yield components were determined: 1) grain yield (RG), from the harvest of the entire useful plot; 2) harvest index (IC) by means of the quotient TRG/TRB, where TRG= biological yield of 25 stalks of the plot, 3) biomass (Bio t ha<sup>-1</sup>), calculated as GY t ha<sup>-1</sup> IC<sup>-1</sup>; 4) spikes per square meter (SPM2), equal to Bio g m<sup>-2</sup> TRB g<sup>-1</sup>; 5) grain weight (GW, mg), product of the weight of 200 grains×5/1000; 6) grains per square meter (GPM2), equal to RG g m<sup>-2</sup> grain weight mg<sup>-1</sup>; 7) grains per spike (GPS), by means of the quotient GPM2/SPM2).

Comparisons were made with the Tukey test ( $p \leq 0.05$ ) of the means of each level of severity in each sampling date; among treatments with and without rust for each level of severity per phenological stage; among means of yield with and without rust for each level of severity per sowing date; among the means of yield with and without rust of the control varieties per sowing date; among means of harvest index, biomass, number of grains per surface unit, grain weight, spikes per square meter and grains per spike for each level of severity per sowing date. For the comparison of means SAS was used (1987).

## RESULTS AND DISCUSSION

Once the epifitias is established, the greater progress of the rust in the genotypes with 81 to 100% severity occurred between the second and third reading with increases of 37 and 36% ( $p \leq 0.05$ ) for the first and second FS. The 100% severity in the susceptible genes appeared 112 d after sowing, which coincided with the early milky grain stage in the first FS (73 in the development stage of Zadoks *et al.*, 1974), whereas

granos por unidad de superficie, peso del grano, espigas por metro cuadrado y granos por espiga para cada nivel de severidad por fecha de siembra. Para las comparaciones de medias se usó SAS (1987).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Fenología

Una vez establecida la epifitía, el mayor progreso de la roya en los genotipos con 81 a 100% de severidad ocurrió en la semana entre la segunda y tercera lectura con incrementos de 37 y 36% ( $p \leq 0.05$ ) para la primera y segunda FS. El 100% de severidad en los genotipos susceptibles se presentó 112 d después de la siembra, que coincidió con la etapa de grano lechoso temprano en la primer FS (73 en la escala de desarrollo de Zadoks *et al.*, 1974), mientras que para la segunda FS ocurrió 96 d después de la siembra que coincidió con 75% de grano formado en la parte media de la espiga (alrededor de 70 en la escala de desarrollo de Zadoks *et al.*, 1974) (Cuadro 1).

El ciclo biológico fue mayor en la primera FS que en la segunda con diferencias de 6 a 9 d en espigamiento, y de 11 a 12 d en la etapa de madurez fisiológica. La roya disminuyó el ciclo del trigo a madurez ( $p \leq 0.05$ ), aunque las diferencias fueron pequeñas, de un día en la mayoría de los casos (Cuadro 2). Solís (1996) indicó que conforme aumenta la severidad de la roya de la hoja en los genotipos se reduce el ciclo; en la variedad Moroco, altamente susceptible a la roya lineal amarilla (Broers, 1997) la reducción puede ser hasta 15 d, pero en genotipos con mayor resistencia la reducción en el ciclo es 3 a 7 d (Solís, 1996).

for the second FS, it occurred 96 d after sowing, which coincided with 75% of grain formed in the middle portion of the spike (approximately 70 in the development scale of Zadoks *et al.*, 1974) (Table 1).

The biological cycle was longer in the first FS than in the second, with differences of 6 to 9 d in heading, and 11 to 12 d in the stage of physiological maturity. The rust diminished the cycle of wheat to maturity ( $p \leq 0.05$ ), although the differences were small, of one day in most cases (Table 2). Solís (1996) indicated that as the severity of the rust in the leaf increases, the cycle is reduced in the genotypes; in the Moroco variety, highly susceptible to yellow stripe rust (Broers, 1997), the reduction may be as much as 15 d, but in genotypes with higher resistance, the reduction in the cycle is from 3 to 7 d (Solís, 1996).

### Grain yield

In both FS and in the five intervals of severity, the treatments without rust had higher yields ( $p \leq 0.05$ ) than those with rust (Table 3). The group of genotypes with 80-100% severity of stripe rust had losses of 41.7 and 43.3% in the first and second FS. These results are higher than those reported by Chester (1946) and Roelf *et al.* (1992), for stages 70 and 73 of the development scale of Zadoks *et al.* (1974).

When the susceptible genotypes (lines of 81-100% severity) reached 100% severity of rust in the flag leaf, in the parent varieties and the controls there was 15 to 80% severity in the first FS and 5 to 70% in the second (Tables 4 and 5). Eneida F94 was the genotype with the highest severity in both; that of the lowest

Cuadro 1. Porcentaje de severidad de roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) en 250 genotipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) evaluados en dos fechas de siembra en Celaya, Guanajuato, México.

Table 1. Percentage of severity of yellow stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) in 250 wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) evaluated on two sowing dates in Celaya, Guanajuato, México.

Fecha de siembra	Intervalo de severidad	NG	Severidad (%) por muestreo			
			01 d	08 d	15 d	22 d
1 diciembre 1998	0-20	56	3 c	5 c	9 b	12 a
	21-40	134	5 d	10 c	23 b	34 a
	41-60	128	6 d	12 c	31 b	54 a
	61-80	124	7 d	15 c	43 b	75 a
	81-100	58	9 d	21 c	58 b	96 a
16 diciembre 1998	0-20	56	4 b	6 ab	7 b	9 a
	21-40	134	6 d	13 c	23 b	27 a
	41-60	128	6 d	15 c	35 b	46 a
	61-80	124	7 d	17 c	43 b	63 a
	81-100	58	8 d	23 c	59 b	83 a

NG = número de genotipos; d = días después de la aparición de los primeros síntomas. Valores entre muestreos con diferente letra, difieren estadísticamente ( $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 2. Efecto de la roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) sobre el ciclo biológico de 250 genotipos de trigo (*Triticum aestivum* L.), evaluados en dos fechas de siembra en Celaya, Guanajuato, México.****Table 2. Effect of yellow stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) on the biological cycle of 250 wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.), evaluated on two sowing dates in Celaya, Guanajuato, México.**

FS	Intervalo de severidad	Esp. (59)		Grano lechoso (75)		Grano masoso (85)		Madurez (91)	
		SR	CR	SR	CR	SR	CR	SR	CR
01-Dic	0-20	94 a	94 a	118 a	117 a	136 a	135 a	147 a	146 a
	21-40	94 a	95 a	118 a	118 a	136 a	135 b	147 a	146 b
	41-60	92 b	93 a	117 a	117 a	136 a	135 b	147 a	146 b
	61-80	90 a	91 a	115 a	114 a	134 a	132 b	145 a	143 b
	81-100	90 a	91 a	115 a	114 a	133 a	132 b	145 a	143 b
16-Dic	0-20	87 a	88 a	108 a	109 a	125 a	125 a	135 a	134 b
	21-40	88 a	88 a	109 a	109 a	125 a	124 b	135 a	134 b
	41-60	86 a	86 a	108 a	107 a	125 a	124 b	135 a	134 b
	61-80	83 b	84 a	106 a	106 a	123 a	122 b	134 a	132 b
	81-100	84 a	84 a	106 a	106 a	123 a	122 b	133 a	132 b

FS= fecha de siembra; Esp.= días a espigamiento; Mad= días a madurez; SR= sin roya; CR= con roya. Valores entre paréntesis corresponden a etapas fenológicas de acuerdo a la escala de desarrollo de Zadoks *et al.* (1974); Valores entre SR y CR, en cada etapa fenológica con diferente letra, difieren estadísticamente ( $p \leq 0.05$ ).

### Rendimiento de grano

En las dos FS y en los cinco intervalos de severidad los tratamientos sin roya tuvieron rendimientos mayores ( $p \leq 0.05$ ) que los con roya (Cuadro 3). El grupo de genotipos con severidad de roya de 80-100% tuvo pérdidas de 41.7 y 43.3% en la primera y segunda FS. Tales resultados son mayores a los reportados por Chester (1946) y Roelf *et al.* (1992), para las etapas 70 y 73 de la escala de desarrollo de Zadoks *et al.* (1974).

Cuando los genotipos susceptibles (líneas de 81-100% de severidad) llegaron a 100% de severidad de roya en la hoja bandera, en las variedades progenitoras y los testigos hubo 15 a 80% de severidad en la primera FS y 5 a 70% en la segunda (Cuadros 4 y 5). Eneida F94 fue el genotipo con la mayor severidad en ambas; el de menor porcentaje de severidad en la primera FS

percentage of severity in the first FS was Pavón F78, and Salamanca S75 in the second. Eneida F94 had the highest percentage of severity of stripe rust, but did not register the highest losses in the two FS, although its percentage of yield losses was high. Salamanca S75 presented the lowest foliar damage in the two FS, registered the highest losses in the first and values above the mean in the second. But Pavón F76 and Saturno S86 registered lower percentages of severity of stripe rust, statistically no different from Salamanca S75, but with lower losses in grain yield with respect to the same genotype. The results show variation in the response of the genotypes to yellow stripe rust; thus, Eneida F94 was able to accumulate more photoassimilates in the stem, in periods prior to anthesis, which were relocated to the grain in formation to compensate for the low photosynthetic capacity of the flag leaf under stripe rust stress. Cortazar S94, although

**Cuadro 3. Rendimiento y porcentaje de pérdidas de 250 genotipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) con diferente grado de severidad de roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*), evaluados en dos fechas de siembra en Celaya, Guanajuato, México.****Table 3. Yield and percentage of losses of 250 wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) with different degree of severity on yellow stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*), evaluated on two sowing dates in Celaya, Guanajuato, México.**

Rango de Severidad	FS I				FS II			
	SR	CR	Dif.	PP	SR	CR	Dif.	PP
0-20	6557 a	5439 b	1118	17.1	6057 a	4750 b	1307	21.5
21-40	6580 a	5018 b	1562	23.7	6164 a	4483 b	1681	27.3
41-60	6570 a	4692 b	1878	28.6	5960 a	4121 b	1839	30.8
61-80	6492 a	4320 b	2172	33.5	6028 a	3811 b	2217	36.8
81-100	6202 a	3614 b	2588	41.7	5702 a	3231 b	2471	43.3

FS= fecha de siembra; SR= tratamiento sin roya; CR= tratamiento con roya; Dif.= diferencia entre tratamiento con y sin roya; PP = porcentaje de pérdidas. Tratamientos en cada fila con diferente letra son diferentes estadísticamente ( $p \leq 0.05$ ).

fue Pavón F76, y Salamanca S75 en la segunda. Eneida F94 tuvo el mayor porcentaje de severidad de roya lineal, pero no registró las pérdidas mayores en las dos FS, aunque su porcentaje de pérdidas en rendimiento fue alto. Salamanca S75 presentó el menor daño foliar en las dos FS, registró las mayores pérdidas en la primera y valores sobre la media en la segunda. Pero Pavón F76 y Saturno S86 registraron porcentajes menores de severidad de roya, estadísticamente no diferentes a Salamanca S75, pero con pérdidas menores en rendimiento de grano respecto al mismo genotipo. Los resultados muestran variación en la respuesta de los genotipos a la roya lineal amarilla; así, Eneida F94 pudo acumular más fotoasimilados en el tallo, en etapas previas a la antesis, que fueron removilizados al

with lower levels of rust, had a low response capacity to compensate the loss of the photosynthetic area. Herrera-Foessel *et al.* (2006) found similar losses caused by leaf rust in hard wheats in the Valle del Yaqui, Sonora, México; the infection and yield loss was 70% and 27.9% in the genotype Manutara on the average of two sowing dates, whereas in the Piquero line it was 17.5% and 41.6%. The authors attribute these results in part to the phenomenon of tolerance (Gaunt, 1981; Parker *et al.*, 2004; Schafer, 1981). Tolerance is defined as the ability of a particular genotype to maintain a high or acceptable level of yield (or quality) in the presence of a disease or when the plant is apparently susceptible to the disease (Bauer, 1991; Caldwell *et al.*, 1958; Gaunt, 1981).

**Cuadro 4. Rendimiento y porcentaje de pérdidas de 10 variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) con el máximo grado de severidad observado de roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) sembrados el 1 de diciembre de 1998 en Celaya, Guanajuato, México.**

**Table 4. Yield and percentage of losses of 10 varieties of wheat (*Triticum aestivum* L.) with the maximum degree of severity observed of yellow stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) sown on December 1 of 1998 in Celaya, Guanajuato, México.**

Variedad	PSR	SR	CR	DIF	PP
Pavón F76	15 c	6319 cd	5104 ab	1215	19.2
Seri M82	35 bc	6000 d	3924 b	2076	34.6
Gálvez M87	25 c	6736 bcd	5715ab	1021	15.2
Temporalera M87	20 c	8083 ab	6215 ab	1868	23.1
Arandas F91	35 bc	7041 abcd	5271 ab	1771	25.1
Salamanca S75	15 c	7923 ab	5035 ab	2889	36.5
Saturno S86	20 c	7027 abcd	5097 ab	1931	27.5
Cortazar S94	60 ab	7826 abc	5653 ab	2174	27.8
Eneida F94	80 a	7513 abcd	5375 ab	2139	28.5
Bárceñas S2002	25 c	8375 a	6674 a	1701	20.3

PSR= porcentaje de severidad; SR= rendimientos en el tratamiento sin roya; CR= rendimiento en el tratamiento con roya; DIF= Diferencia entre tratamiento con y sin roya; PP= porcentaje de pérdidas. Valores en cada columna con diferente letra son diferentes estadísticamente ( $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 5. Rendimiento y porcentaje de pérdidas de 10 variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) con el máximo grado de severidad observado de roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) sembrados el 16 de diciembre de 1998 en Celaya, Guanajuato, México.**

**Table 5. Yield and percentage of losses of 10 varieties of wheat (*Triticum aestivum* L.) with the maximum degree of severity of yellow stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) sown on December 16 of 1998 in Celaya, Guanajuato, México.**

Variedad	PSR	SR	CR	DIF	PP
Pavón F76	15 bcd	5854 bc	4410 a	1445	24.7
Seri M82	25 bcd	5681 c	4299 a	1382	24.3
Gálvez M87	10 cd	7194 abc	5194 a	2000	27.8
Temporalera M87	8 cd	7056 abc	4889 a	2167	30.7
Arandas F91	30 bc	6319 abc	4917 a	1403	22.2
Salamanca S75	5 d	7236 abc	5319 a	1917	26.5
Saturno S86	8 cd	6472 abc	5201 a	1271	19.6
Cortazar S94	35 b	8007 a	4660 a	3347	41.8
Eneida F94	70 a	7188 abc	4431 a	2757	38.4
Bárceñas S2002	8 cd	7493 ab	5458 a	2035	27.2

PSR = porcentaje de severidad; SR = rendimientos en el tratamiento sin roya; CR = rendimiento en el tratamiento con roya; DIF = Diferencia entre tratamiento con y sin roya; PP = porcentaje de pérdidas. Valores en cada columna con diferente letra son diferentes estadísticamente ( $p \leq 0.05$ ).

grano en formación para compensar la baja capacidad fotosintética de la hoja bandera bajo estrés de la roya. Cortazar S94, aunque con menores niveles de roya, tuvo una baja capacidad de respuesta para compensar la pérdida del área fotosintética. Herrera-Foessel *et al.* (2006) encontraron pérdidas similares causadas por roya de la hoja en trigos duros en el Valle del Yaqui, Sonora, México: la infección y la pérdida en rendimiento fue 70% y 27.9% en el genotipo Manutara en promedio de dos fechas de siembra, mientras que en la línea Piquero fue 17.5% y 41.6%. Los autores atribuyeron estos resultados en parte al fenómeno de tolerancia (Gaunt, 1981; Parker *et al.*, 2004; Schafer, 1981). La tolerancia se define como la habilidad de un genotipo en particular para mantener un nivel de rendimiento (o calidad) alto o aceptable en presencia de una enfermedad o cuando aparentemente la planta es susceptible a la enfermedad (Bauer, 1991; Caldwell *et al.*, 1958; Gaunt, 1981).

### Índice de cosecha y biomasa

La roya disminuyó significativamente el índice de cosecha de los grupos de severidad 21-40, 61-80 y 81-100% en la primer FS y en los grupos 0-20, 21-40, 41-60, 61-80 y 81-100 % en la segunda FS. Pero la biomasa de los grupos de severidad 0-20, 21-40, 41-60, 61-80 y 81-100 de los tratamientos con roya fue significativamente menor a los tratamientos con protección en ambas FS (Cuadro 6). Las lesiones ocasionadas por la roya reducen el área fotosintética de las hojas, que interceptan menor cantidad de radiación solar y producen menos asimilados dando lugar a una menor biomasa (Gaunt, 1995). Ambos caracteres tuvieron menor expresión por efecto de la roya, destacando el grupo de 81 a 100% de severidad con reducción de 7% en el índice de cosecha en ambas FS y de 5.1 y 4.9 t ha<sup>-1</sup> de biomasa en primera y segunda FS. Esto coincide con los resultados de Singh y Huerta (1997), quienes observaron que el genotipo Jupateco 73 susceptible sin protección de roya tuvo menor expresión de estos caracteres con el retraso de la FS.

### Granos por unidad de superficie y peso del grano

El número de granos por unidad de superficie se redujo de acuerdo con el porcentaje de severidad de roya lineal de 7.7 a 18.5% en la FS del 1 de diciembre, pero, en la FS del 16 de diciembre las pérdidas fluctuaron entre 14.5 y 29.6% (Cuadro 7). Herrera-Foessel *et al.* (2006), en un experimento similar, observaron que el número de granos por metro cuadrado se redujo 8.8 y 28.9% en las FS temprana y tardía. Estas diferencias eran las esperadas debido a que la

### Harvest and biomass index

The rust significantly reduced the harvest index of the groups of severity 21-40, 61-80 and 81-100% in the first FS and in groups 0-20, 21-40, 41-60, 61-80 and 81-100% in the second FS. But the biomass of the groups of severity 0-20, 21-40, 41-60, 61-80 and 81-100% of the rust treatments was significantly lower than the treatments with protection in both FS (Table 6). The lesions caused by the rust reduce the photosynthetic area of the leaves, which intercept a lower amount of solar radiation and produce a lower amount of assimilates, resulting in a lower biomass (Gaunt, 1995). Both characters had lower expression due to the effect of the rust, being outstanding the group of 81 to 100% severity with a 7% reduction in the harvest index in both FS and of 5.1 and 4.9 t ha<sup>-1</sup> of biomass in the first and second FS. This coincides with the results of Singh and Huerta (1997), who observed that the genotype Jupateco 73 susceptible without protection from rust had lower expression of these characters with the delay of the FS.

### Grains per surface unit and grain weight

The number of grains per surface unit was reduced according to the percentage of severity of stripe rust from 7.7 to 18.5% in the FS of December 1, however, in the FS of December 16, the losses fluctuated between 14.5 and 29.6% (Table 7). Herrera-Foessel *et al.* (2006), in a similar experiment, observed that the number of grains per square meter was reduced by 8.8 and 28.9% in the early and late FS. These differences were expected due to the fact that the rust was established in an earlier stage in the late FS, affecting with more severity this character which is defined three weeks prior to anthesis (Fischer, 1985).

Grain weight was reduced according to the level of severity of 10.2 to 28.0% in the first FS, and in the second FS between 8.1 and 20.3%. Herrera-Foessel *et al.* (2006) obtained similar results, with losses of 13.3 and 10.3% for the early and late FS. The highest losses in grain weight observed in the first FS could perhaps be attributed to a compensatory effect between the two yield components. Thus, the second FS produced fewer grains per surface unit due to a reduction of grains placed in distal positions, which having smaller size reduce the grain weight average (Slafer *et al.*, 1996). Singh and Huerta-Espino (1997) evaluated lines that were almost isogenic derived from the variety Jupateco 73 with and without the gene *Lr34*, and found that in the susceptible lines, the rust reduced the grains per square meter by 54.4% and the grain weight by 37.9%. losses higher than those observed in the present study.



**Cuadro 6. Efecto del porcentaje de severidad de la roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) sobre el índice de cosecha y la biomasa de 250 genotipos de trigo (*Triticum aestivum*), evaluados en dos fechas de siembra en Celaya, Guanajuato, México.**  
**Table 6. Effect of the percentage of severity of yellow stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) on the harvest index and biomass of 250 wheat genotypes (*Triticum aestivum*), evaluated on two sowing dates in Celaya, Guanajuato, México.**

Intervalo de severidad	FS I				FS II			
	Índice de cosecha		Biomasa, t ha <sup>-1</sup>		Índice de cosecha		Biomasa, t ha <sup>-1</sup>	
	SR	CR	SR	CR	SR	CR	SR	CR
0-20	0.34 a	0.34 a	19.6 a	16.0 b	0.35 a	0.33 b	17. a	14.8 b
21-40	0.35 a	0.32 b	19.2 a	15.8 b	0.34 a	0.32 b	18.5 a	14.1 b
41-60	0.35 a	0.34 a	18.9 a	14.7 b	0.34 a	0.32 b	17.7 a	13.2 b
61-80	0.35 a	0.31 b	18.7 a	14.2 b	0.34 a	0.30 b	17.9 a	12.6 b
81-100	0.35 a	0.28 b	18.1 a	13.0 b	0.34 a	0.27 b	16.9 a	12.0 b

FS = fecha de siembra; SR = tratamiento sin roya; CR = tratamiento con roya. Valores entre SR y CR para índice de cosecha y biomasa con diferente letra son diferentes estadísticamente ( $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 7. Efecto del porcentaje de severidad de la roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) sobre los componentes principales de rendimiento de 250 genotipos de trigo (*Triticum aestivum*), evaluados en dos fechas de siembra en Celaya, Guanajuato, México.**

**Table 7. Effect of the percentage of severity of yellow stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) on the main components of yield of 250 wheat genotypes (*Triticum aestivum*), evaluated on two sowing dates in Celaya, Guanajuato, México.**

Sev (%)	FS I				FS II			
	NGM2		PG		NGM2		PG	
	SR	CR	SR	CR	SR	CR	SR	CR
0-20	14208 a	13113 b	46.8 a	42.0 b	14290 a	12215 b	43.5 a	40.0 b
21-40	14828 a	13175 b	44.9 a	39.1 b	15619 a	12045 b	40.3 a	38.0 b
41-60	14492 a	12569 b	45.9 a	38.5 b	14265 a	10898 b	42.4 a	38.2 b
61-80	13814 a	11741 b	47.7 a	37.3 b	14130 a	10065 b	42.9 a	38.1 b
81-100	13568 a	11054 b	46.1 a	33.2 b	13645 a	9601 b	42.4 a	33.8 b

Sev= severidad; NGM2= número de granos por metro cuadrado; PG= peso del grano en miligramos; SR= tratamiento sin roya; CR= tratamiento con roya. Tratamientos con diferente letra son diferentes estadísticamente ( $p \leq 0.05$ ).

roya se estableció en una etapa más temprana en la FS tardía, afectando más seriamente este carácter que se define tres semanas antes de la antesis (Fischer, 1985).

El peso del grano se redujo de acuerdo con el nivel de severidad de 10.2 a 28.0% en la primera FS, y en la segunda FS entre 8.1 y 20.3%. Herrera Foessel *et al.* (2006) obtuvieron resultados similares, con pérdidas de 13.3 y 10.3% para la FS temprana y tardía. Las mayores pérdidas en el peso del grano observadas en la primera FS quizás se puedan atribuir a un efecto compensatorio entre los dos componentes de rendimiento. Así, la segunda FS produjo menos granos por unidad de superficie debido a una disminución de granos colocados en posiciones distales, los que al ser de menor tamaño reducen el peso de grano promedio (Slafer *et al.*, 1996). Singh y Huerta-Espino (1997) evaluaron líneas casi isogénicas derivadas de la variedad Jupateco 73 con y sin el gene *Lr34*, y encontraron que en las líneas susceptibles la roya redujo en 54.4%

### Spikes per square meter and grains per spike

When analysis was made of the components from which the number of grains per surface unit is derived (Table 8), it was observed that for all the severities, there were significant differences among the treatments with and without fungicide protection in the component spikes per m<sup>2</sup> in the first FS. In the second FS for severity of 0-20 and 81-100%, significant differences were not detected. In the component grains per spike and for 0-20%, 21-40% of severity, significant differences were not detected in the first FS, in the second, all of the severity groups presented significant differences among treatments with and without rust.

The first produced a slightly lower amount of spikes than the second and a higher number of grains per spike. Both presented a lower number of spikes and grains per spike in the treatment with rust. This second component was severely affected in the second FS with

los granos por metro cuadrado y en 37.9% el peso del grano, pérdidas mayores a las observadas en el presente estudio.

### Espigas por metro cuadrado y granos por espiga

Al analizar los componentes de los cuales se deriva el número de granos por unidad de superficie (Cuadro 8), se observó que para todas las severidades hubo diferencias significativas entre los tratamientos con y sin protección de fungicida en el componente espigas por m<sup>2</sup> en la primera FS. En la segunda FS para severidad de 0-20 y 81-100%, no se detectaron diferencias significativas. En el componente granos por espiga y para 0-20%, 21-40% y 41-60% de severidad no se detectaron diferencias significativas en la primera FS; en la segunda, todos los grupos de severidad presentaron diferencias significativas entre tratamientos con y sin roya.

La primera FS produjo una cantidad de espigas ligeramente menor que la segunda y un mayor número de granos por espiga. Ambas presentaron menor número de espigas y granos por espiga en el tratamiento con roya. Este segundo componente fue severamente afectado en la segunda FS en comparación con el efecto la primera, donde se observó que el grupo de severidad de 81 a 100% tuvo en promedio pérdidas de 24.1% contra 9.2% de la primera FS. En general, se observó que la roya afectó de manera similar la producción de espigas por unidad de superficie en ambas FS; en cambio, en la segunda FS la roya ocasionó una reducción mayor en el número de granos por espiga. Singh y Huerta-Espino (1997) observaron que la roya disminuyó en 31.1% las espigas por metro cuadrado. Las pérdidas en las líneas susceptibles aumentaron con el retraso en la fecha de siembra.

respect to the effect of the first, where it was observed that the severity group of 81 to 100% had on the average losses of 24.1% against 9.2% of the first FS. In general, it was observed that the rust affected in a similar way the production of spikes per surface unit in both FS; however, in the second FS, the rust caused a higher reduction in the number of grains per spike. Singh and Huerta-Espino (1997) observed that the rust caused a decrease of 31.1% in spikes per square meter. The losses in the susceptible lines increased with the delay in the sowing date.

### CONCLUSIONS

Stripe rust caused 41% yield loss when it reached 100% infection in the early milky grain stage, and 43.3% for the stage of ¾ of grain formed in the middle portion of the spike in genotypes with a damage level of 81 to 100%. In the optimum production environment (December 19), the main yield component affected was grain weight, whereas on the sub-optimum sowing date (December 16), the number of grains per surface unit and the grain weight were affected in a similar way. Of the components that generate the number of grains per surface unit, the number of grains per spike was more highly affected by the rust, especially on the second sowing date.

—End of the English version—



### CONCLUSIONES

La roya lineal ocasionó 41% de pérdidas en rendimiento cuando se alcanzó 100% de infección en la

**Cuadro 8.** Efecto del porcentaje de severidad de la roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) sobre los componentes del número de granos por metro cuadrado de 250 genotipos de trigo (*Triticum aestivum*), evaluados en dos fechas de siembra en el ciclo otoño invierno 1998-99 en Celaya, Guanajuato, México.

**Table 8.** Effect of the percentage of severity of yellow stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) on the components of number of grains per square meter of 250 wheat genotypes (*Triticum aestivum*), evaluated on two sowing dates in the 1998-99 fall-winter cycle in Celaya, Guanajuato, México.

Sev (%)	FS I				FS II			
	EPM2		GPE		EPM2		GPE	
	SR	CR	SR	CR	SR	CR	SR	CR
0-20	407 a	351 b	38.2 a	36.2 a	419 a	400 a	34.8 a	31.1 b
21-40	379 a	341 b	39.7 a	39.5 a	427 a	387 b	37.2 a	31.7 b
41-60	381 a	333 b	40.1 a	38.7 a	405 a	365 b	35.9 a	30.5 b
61-80	372 a	331 b	38.0 a	36.1 b	410 a	349 b	35.1 a	29.4 b
81-100	355 a	314 b	39.0 a	35.4 b	378 a	358 a	36.5 a	27.7 b

Sev= severidad; EPM2= espigas por metro cuadrado; GPE= granos por espiga; SR= tratamiento sin roya; CR= tratamiento con roya. Tratamientos con diferente letra son diferentes estadísticamente (p≤0.05).

etapa de grano lechoso temprano, y 43.3% para la etapa de  $\frac{3}{4}$  de grano formado en la parte media de la espiga en genotipos con nivel de daño de 81 a 100%. En el ambiente óptimo de producción (1 de diciembre), el principal componente de rendimiento afectado fue el peso del grano, mientras que en la fecha de siembra sub-óptima (16 de diciembre), el número de granos por unidad de superficie y el peso del grano fueron afectados de manera similar. De los componentes que generan el número de granos por unidad de superficie, el número de granos por espiga fue mayormente afectado por la roya sobre todo en la segunda fecha de siembra.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al CONACyT por el financiamiento parcial de esta investigación, Proyecto GTO-2003-C02-11860.

#### LITERATURA CITADA

- Bauer, M. L. I. 1991. Fitopatología. Ed. Limusa, S. A. de C. V., México. 384 p.
- Broers, L. M. 1997. Components of quantitative resistance to yellow rust in ten spring bread wheat cultivars and their relations with field assessments. *Euphytica* 96: 215-223.
- Calderini, D. F., M. P. Reynolds, and G. A. Slafer. 1999. Genetic gains in wheat yield and associated physiological changes during the twentieth century. *In: Satorre E. M., and G. A. Slafer (eds). Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination. Food Products Press, The Haworth Press, Inc. New York, USA. pp: 351-377.*
- Caldwell, R. M., J. F. Schafer, L. E. Compton, and F. L. Patterson. 1958. Tolerance to cereal leaf rusts. *Science* 128:714-715.
- Chester, K. S. 1946. The Nature and Prevention of the Cereals Rusts as Exemplified in the Leaf Rust of Wheat. *Cronica Botanica*, Waltham, Mass., USA Department of Botany and Plant Pathology. Oklahoma Agricultural and Mechanical College. 269 p.
- Cox, T. S., R. K. Bequette, R. L. Bowden, and R. G. Sears. 1997. Grain yield and breadmaking quality of wheat lines with the leaf rust resistance gene *Lr41*. *Crop Sci.* 37:154 -161.
- Fischer, R. A. 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *J. Agric. Sci.* 100: 447-461.
- Gaunt, R. E. 1981. Disease tolerance-an indicator of thresholds? *Phytopathology* 71: 915-916.
- Gaunt, R. E. 1995. The relationship between plant disease severity and yield. *Ann. Rev. Phytopathol.* 33: 119-144.
- Herrera-Foessel S. A., R. P. Singh, J. Huerta-Espino, J. Crossa, J. Yuen, and A. Djurle. 2006. Effect of leaf rust on grain yield and yield traits of durum wheats with race-specific and slow rusting resistance to leaf rust. *Plant Dis.* 90: 1065-1072.
- Ma, H., R. P. Singh, and A. Mujeeb-Kazi. 1997. Resistance to stripe rust in durum wheats, A-genome diploids, and their amphiploids. *Euphytica* 94:279-286.
- McIntosh, R. A. 1998. Breeding wheat for resistance to biotic stresses. *Euphytica* 100: 19-34.
- Parker, S. R., S. Welham, N. D. Paveley, J. Foulkes, and R. K. Scott. 2004. Tolerance to septoria leaf blotch in winter wheat. *Plant Pathology* 53:1-10.
- Peterson, R. F., A. B. Campbell, and A. E. Hannah. 1948. A diagrammatic scale of estimating rust intensity on leaves and stems of cereals. *Can. J. Res. Section C* 26:496-500.
- Roelfs, A. P. 1978. Estimated losses caused by rust in small grain cereals in the United States: 1918-1976. USDA. Mis. Pub. 1363. U.S. Gov. Print Office, Washington. D.C. pp: 1-85.
- 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.
- Salazar-Gómez, M. 1992. La red nacional de investigación en cereales de grano pequeño. Organización actual y planes futuros. *In: I Conferencia Nacional sobre la Producción de Trigo en México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Noroeste. Cd. Obregón, Sonora, México. pp: 35-47.*
- Sandoval I., J. S., K. S. Osada, F. H. Vivar, y I. Benítez R. 1999. Correlación entre resistencia en plántula y resistencia en planta adulta a la roya amarilla y a la escaldadura de la cebada. *Agrociencia* 33: 415-422.
- SAS Institute. 1987. SAS User's Guide; Statistics. 6<sup>th</sup> ed. SAS Institute, Cary, NC, USA. 890 p.
- Schafer, J. F. 1987. Rusts, smuts, and powdery mildew. *In: Wheat and Wheat Improvement. 2<sup>nd</sup> Ed. Heyne, E. G. (ed.). American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA. pp: 542-584.*
- Schafer, J. F. 1971. Tolerance to plant disease. *Ann. Rev. Phytopathol.* 9: 235-250.
- Slafer, G. A., and R. Savin 1994. Source-sink relationships and grain mass at different positions within the spike in wheat. *Field Crops Res.* 37: 39-49.
- Slafer, G. A., D. F. Calderini, and D. J. Miralles. 1996. Yield components and compensation in wheat: Opportunities for further increasing yield potential. *In: Reynolds, M.P., S. Rajaram, and A. McNab (eds). Increasing Yield Potential in Wheat: Breaking the Barriers. México, D. F. CIMMYT. pp: 101-133.*
- Schultz, T. R., and R. F. Line. 1992. High-temperature, adult-plant resistance to wheat stripe rust and effects on yield components. *Agron. J.* 84:170-175.
- Singh, R. P., and J. Huerta-Espino. 1997. Effect of leaf rust resistance gene *Lr34* on grain yield and agronomics traits of spring wheat. *Crop Sci.* 37: 390-395.
- Singh, R. P., Huerta-Espino J., and S. Rajaram. 2000. Achieving near-immunity to leaf and stripe rust in wheat by combining slow rusting resistance genes. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica* 35: 133-139.
- Solis M., E. 1996. Efecto de la roya de la hoja sobre cinco genotipos de trigo harinero *Triticum aestivum* L. en El Bajío, México. *Agric. Téc. Méx.* 22:51-62.
- Stubbs, R. W. 1988. Pathogenicity analysis of yellow (stripe) rust of wheat and its significance in a global context. *In: Breeding Strategies for Resistance to the Rust of Wheat. Simmonds N.W., and S. Rajaram (eds). CIMMYT. México, D. F. pp: 23-38.*
- Terrones-Rincón, T. R. L., C. Mejía A, y H. García N. 2000. Índices Agroclimáticos Guanajuato. Publicación Técnica Núm. 2. SAGAR, INIFAP, CIRCE, CEBAJ. 111 p.
- Torabi, M., and K. Nazari. 1998. Seedling and adult plant resistance to yellow rust in Iranian bread wheats. *Euphytica* 100: 51-54.
- Zadoks, J. C., T. T. Chang, and C. F. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14: 415-421.
- Zwer, P. M., and C. O. Qualset. 1994. Genes for resistance to stripe rust in four spring wheat varieties. 2. Adult plant responses. *Euphytica* 74: 109-115.