

ANÁLISIS DE VIRULENCIA DE LA ROYA AMARILLA (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) DEL TRIGO (*Triticum aestivum* L.) EN LOS VALLES ALTOS DE MÉXICO

ANALYSIS OF WHEAT (*Triticum aestivum* L.) YELLOW RUST (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) VIRULENCE IN THE HIGH VALLEYS OF MÉXICO

M. Florencia Rodríguez-García^{1*}, Julio Huerta-Espino¹, Héctor E. Villaseñor-Mir¹, José S. Sandoval Islas², Ravi P. Singh³

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CEVAMEX. 56230. Chapingo Texcoco, Estado de México. (rodriguez.maria@inifap.gob.mx), (huerta.julio@inifap.gob.mx), (hevimir@yahoo.com.mx). ²Fitopatología. Campus Montecillos. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillos Estado de México. (sandoval@colpos.mx). ³Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. 56130. El Batán Texcoco Estado de México. (rsingh@cgiar.org.)

RESUMEN

La roya amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) del trigo (*Triticum aestivum* L.) causa pérdidas importantes en rendimiento en los Valles Altos de México, debido a que el hongo puede evolucionar y vencer la resistencia de las nuevas variedades. Por tanto, se estudio la virulencia de este patógeno en los ciclos Primavera-Verano (P-V)/2005, 2006 y 2007 en los Valles Altos de México. Se recolectaron hojas y espigas infectadas con el hongo causante de la roya amarilla de zonas productoras de los estados de Tlaxcala, Hidalgo, Puebla y el Estado de México. Las muestras se procesaron en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) ubicado en El Batán, Texcoco, Estado de México. Para identificar las razas fisiológicas se usaron 14 líneas isogénicas y 10 variedades. Los resultados permitieron identificar 39 razas; la más frecuente fue 219MEX0 (15.6 %), identificada en el 2003 y caracterizada por vencer la resistencia del gen *Yr1*, seguida de 218MEX0 (6.4 %) y la raza 91MEX0 (8.2 %). Las razas 122MEX0, 377MEX0, 378MEX0, 506MEX0 y 507MEX0 se presentaron en el ciclo P-V/2005 y 2006, mientras que las razas 218MEX0, 219MEX0 y 251MEX0 se presentaron en los ciclos P-V/2006 y 2007. Se determinó que en los Valles Altos de México existe virulencia para los genes *Yr1*, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 17, 27, *Poll* y *YrA* y avirulencia para *Yr5*, 10, 15, 24, 26 y *YrSp*. Las razas identificadas se caracterizaron también en los set de genotipos diferenciales europeos y mundiales, donde se encontraron las siguientes equivalencias: 730MEX0=6E0, 122MEX0=38E148, 219MEX0=135E6, 472MEX0=134E132, 346MEX0=134E2, 250MEX0=134E22, 216MEX0=134E134, 251MEX0=

ABSTRACT

Wheat yellow rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) causes major losses in wheat (*Triticum aestivum* L.) yields in the High Valleys of México because the fungus can evolve and overcome the resistance bred into new varieties. Therefore, the virulence of this pathogen was studied in the High Valleys of México during the spring-summer crop cycles of 2005, 2006, and 2007. Leaves and spikes infected by the fungus causing wheat yellow rust were collected in the production zones of the states of Tlaxcala, Hidalgo, Puebla, and the Estado de México. Samples were processed in the Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), located in El Batán, Texcoco, Estado de México. To identify the physiological races, 14 isogenic lines and 10 varieties were used. The results indicated the presence of 39 races; the most frequent was 219MEX0, (15.6 %) previously identified in 2003, which overcame the resistance of *Yr1* gene. Following in frequency were 218MEX0 (6.4 %) and 91MEX0 (8.2 %). Races 122MEX0, 377MEX0, 378MEX0, 506MEX0, and 507MEX0 were present in the 2005 and 2006 spring-summer cycle, while races 218MEX0, 219MEX0, and 251MEX0 were present in the 2006 and 2007 spring-summer cycles. It was determined that in the High Valleys of México there is virulence for the genes *Yr1*, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 17, 27, *Poll* and *YrA* and avirulence for *Yr5*, 10, 15, 24, 26, and *YrSp*. The identified races were also characterized in the set of European and world differential genotypes, where the following equivalences were found: 730MEX0=70E0, 122MEX0=38E148, 219MEX0=135E6, 472MEX0=134E132, 346MEX0=134E2, 250MEX0=134E22, 216MEX0=134E134, 251MEX0=135E150, 89MEX0=199E0, 248MEX0=6E18, 88MEX0=6E2, 218MEX0=6E6, and 478MEX0=70E0. When the differential lines of the world set were used, it was found

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: Marzo, 2009. Aprobado: Diciembre, 2009.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 44: 491-502. 2010.

135E150, 89MEX0=199E0, 248MEX0=6E18, 88MEX0=6E2, 218MEX0=6E6 y 478MEX0=70E0. Al usar las líneas diferenciales del set mundial se encontró que la equivalencia 134 con virulencia para los genes *Yr7*, *6*, *9+* había sido registrada en Etiopía, Kenia, Siria y Yemen desde 1992. La identificación de razas fisiológicas y conocer la virulencia del patógeno es importante como una herramienta útil en el mejoramiento genético, al crear y liberar nuevas variedades con las combinaciones genéticas más efectivas para controlar la roya amarilla.

Palabras claves: *P. striiformis* f. sp. *tritici*, genes, variedades, raza fisiológica, trigo, *Yr*.

INTRODUCCIÓN

El trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) es el cultivo con mayor superficie en el mundo y el volumen de su cosecha es mayor que el de cualquier otro alimento. En México, las principales zonas productoras de temporal están ubicadas en los Valles Altos de México que comprenden los estados de Tlaxcala, Hidalgo, Puebla y Estado de México (Villaseñor, 2000). La producción de este cereal es afectada principalmente por enfermedades fungosas, donde destacan las causadas por el género *Puccinia*. Line y Chen (1995) indican que la roya amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* W.), de la hoja (*Puccinia triticina* E.) y del tallo (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*), son las enfermedades más destructivas del trigo y las que más pérdidas han causado en el mundo (Zwer y Qualset, 1994; Singh *et al.*, 2005). La roya de la hoja ha ocasionado los mayores daños en la producción de trigo en México; la epidemia en el noroeste durante el 2001, 2002 y 2003 en trigos duros, debido a la nueva raza BBG/BN, causó pérdidas de 32 millones de dólares para los agricultores mexicanos (Herrera-Fossel *et al.*, 2005). La roya del tallo que era el factor limitante para la producción del trigo en México durante la década de 1940 se logró controlar con la liberación de la variedad Yaqui 50 en 1950 (Roelfs y MacVey, 1972), y desde entonces no han aparecido nuevos focos de infección. Sin embargo, existe una amenaza potencial de una raza identificada como Ug99 o TTKS en Uganda, que se ha dispersado en África y parte de Asia y que tiene virulencia para muchos genes de resistencia usados en la mayoría de los programas de mejoramiento de México y el mundo (Singh *et al.*,

that the equivalence 134 with virulence for the *Yr7*, *6*, *9+* genes has been recorded in Ethiopia, Kenya, Syria and Yemen since 1992. The identification of physiological races and knowledge of the virulence of the pathogen is important as a useful tool in breeding and releasing new varieties with genetic combinations that are more effective in the control of yellow rust.

Key words: *P. striiformis* f. sp. *tritici*, genes, varieties, physiological race, wheat, *Yr*.

INTRODUCTION

Bread wheat (*Triticum aestivum* L.) is the crop occupying the largest area in the world, and the volume of production is greater than any other food. In México, the main rainfed producer zones are located in the High Valleys of México in the states of Tlaxcala, Hidalgo, Puebla, and the Estado de México (Villaseñor, 2000). This cereal crop is affected principally by fungal diseases, among which those caused by the genus *Puccinia* are prominent. Line and Chen (1995) state that yellow rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* W.), leaf rust (*Puccinia triticina* E.) and stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) are the most destructive wheat diseases and those which cause the largest losses throughout the world (Zwer and Qualset, 1994; Singh *et al.*, 2005). Leaf rust has caused the greatest damage to wheat production in México. The outbreak of the new BBG/BN race in durum wheat in the northwest in 2001, 2002, and 2003 caused losses of 32 million dollars to Mexican farmers (Herrera-Fossel *et al.*, 2005). Stem rust, which was a limiting factor for wheat production in México during the 1940s, was controlled by the release of the Yaqui 50 variety in 1950 (Roelfs and McVey, 1972), and since then no new focus of infection has appeared. However, there is a potential threat from a race identified in Uganda as Ug99 or TTKSK, which has dispersed in Africa and part of Asia and has virulence for many of the resistance genes used in most of the breeding programs of México and the world (Singh *et al.*, 2006). Yellow rust may become as important as leaf rust because its incidence has increased in the wheat production zones (Huerta-Espino and Singh, 2000). The three species of the *Puccinia* genus causing rusts constantly threaten wheat production throughout the world given that they can breakdown specific resistance

2006). Además, la roya amarilla puede llegar a ser tan importante como la de la hoja porque su prevalencia en zonas productoras ha aumentado (Huerta-Espino y Singh, 2000). Las tres especies del género *Puccinia* causantes de royas constantemente amenazan la producción de trigo en el mundo, dado que pueden vencer la resistencia específica de variedades nuevas por la evolución hacia nuevos biotipos del patógeno o razas fisiológicas con nuevos genes de virulencia. Además se reproducen rápidamente y pueden moverse a distancias muy grandes.

La raza 14E14 fue la más común en las zonas de trigo de temporal y el Bajío en México y se caracterizó por su virulencia para los genes *Yr2*, *3*, *6*, *7*, *Sk* y *A* (Huerta-Espino y Singh, 2000). En las áreas de temporal en México eran importantes tres razas fisiológicas: una vence la resistencia de Temporalera M87, Gálvez M87 y Verano S91; la segunda vence la resistencia de Batán F96 y de variedades que posean el gen *Yr9*; y la tercera diferencia plantas resistentes y susceptibles en la variedad de triticale Secano TCL96 (Huerta-Espino y Singh, 2000).

En México, la siembra de variedades resistentes ha sido la forma más frecuente para controlar la roya amarilla. Hasta el verano del 2002, las variedades recomendadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) para siembras de temporal, tenían resistencia a la enfermedad, a excepción de Temporalera M87, que era moderadamente susceptible (Villaseñor *et al.*, 2007). En el verano del 2003 se observó una nueva raza identificada como MEX03.37 (219MEX0) caracterizada por infectar la espiga de diversas variedades que habían sido resistentes (Rodríguez *et al.*, 2008a). En el verano del 2004 esta nueva raza venció la resistencia de las variedades Zacatecas VT74, Salamanca S75, Pavón F76, Saturno S86, Gálvez M87, Cortazar S94 y Batán F96, y provocó pérdidas de 75 % en el rendimiento (Huerta-Espino, 2008⁴). A causa de la problemática presentada por la roya amarilla en los ciclos de producción P-V/2004, 2005 y debido a la necesidad de controlar genéticamente esta enfermedad, el objetivo del presente estudio fue identificar las razas fisiológicas de *P. striiformis* f. sp. *tritici* en las zonas productoras de trigo de temporal de los Valles Altos de México.

of new varieties by evolving toward new biotypes, or physiological races, of the pathogen with new virulence genes. They can also reproduce rapidly and can travel great distances.

In México, 14E14 was the most common race in the rainfed wheat zones and in El Bajío; it was characterized by its virulence for the genes *Yr2*, *3*, *6*, *7*, *27* and *YrA* (Huerta-Espino and Singh, 2000). In the Mexican rainfed areas, three physiological races were important: one broke down the resistance of Temporalera M87; Gálvez M87, and Verano S91; the second broke down the resistance of Batán F96 and varieties that possess the *Yr9* resistance gene; and the third could differentiate resistant and susceptible plants of the triticale variety Secano TCL 95 (Huerta-Espino and Singh, 2000).

In México, planting resistant varieties has been the most frequent way of controlling yellow rust. Until the summer of 2002, the wheat varieties recommended by the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) for rainfed conditions were resistant to the disease, with the exception of Temporalera M87, which was moderately susceptible (Villaseñor *et al.*, 2007). During the summer of 2003, a new race identified as MEX03.37 (219MEX0) infected the spikes of several varieties that had been resistant (Rodríguez *et al.*, 2008a), and during the summer of 2004, this new race broke down the resistance of the varieties Zacatecas VT74, Salamanca S75, Pavón F76, Saturno S86, Galvez M87, Cortazar S94, and Batán F96, causing losses in yields of up to 75 % (Huerta-Espino, 2008). Because of the damage caused by yellow rust to the spring-summer 2004 and 2005 crop cycles and because of the need for genetic control of the disease, the objective of this study was to identify the physiological races of *P. striiformis* f. sp. *tritici* in the rain-fed wheat producing region of the High Valleys of México.

MATERIALS AND METHODS

Sample collection

Samples of leaves and spikes with yellow rust urediniospores were collected in the High Valleys of México during several spring-summer crop cycles. In 2005, 13 samples were collected in

⁴ Huerta-Espino, J. 2008. Comunicación personal. Investigador Fitopatólogo del INIFAP (huerta.julio@inifap.gob.mx).

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección de muestras

Se recolectaron muestras de hojas y espigas con urediniosporas de roya amarilla en los Valles Altos de México. En el ciclo de cultivo P-V/2005 se recolectaron 13 muestras de los estados de Tlaxcala, Hidalgo, Puebla y Estado de México, durante el ciclo P-V/2006 se recolectaron 253 muestras en Tlaxcala y Estado de México y durante el ciclo P-V/2007 40 muestras fueron recolectadas en Tlaxcala y Estado de México.

Incremento, purificación del inóculo e inoculación

Las muestras se trasladaron al Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) estación experimental El Batán, Estado de México (19° 31' N y 99° 53' O), para su conservación e incremento. Las urediniosporas de las muestras de hojas y espigas se recolectaron usando boquillas especiales conectadas a un compresor, y se almacenaron en cápsulas de gelatina conservadas a -55 °C. Las muestras de roya se incrementaron al inocular la variedad de trigo Morocco +*Lr19* sembrada en vasos de unicel, un genotipo resistente a todas las razas de roya de la hoja en México, a excepción de CBJ/QQ (Huerta-Espino y Singh, 1994), pero susceptible a todas las razas de roya amarilla en México. A los 5 d de sembradas todas las plántulas de Morocco+*Lr19* se trataron con ácido maleico (MH30[®]) para regular su crecimiento. Para usar aislamientos puros de cada recolección se hicieron inoculaciones artificiales en plántulas de Morocco +*Lr19* de 8 d, suspendiendo las urediniosporas en aceite mineral (Sotrol[®] 170), asperjándose sobre las láminas de las hojas. Las plántulas inoculadas se secaron por 20 min y se pasaron a una cámara de rocío a 4-7 °C por 48 h; después se trasladaron a un invernadero (15-18 °C). Los aislamientos fueron mantenidos en cubículos individuales de plástico para evitar la contaminación entre ellos. A los 15 d después de la inoculación se recolectaron las urediniosporas de cada aislamiento, se almacenaron en cápsulas de gelatina y se conservaron entre 5 y 8 °C.

Siembra de diferenciales y toma de notas

Para identificar las razas fisiológicas se usó un conjunto de 14 líneas isogénicas obtenidas de retrocruzas de trigo Avocet-*YrA* donde cada isolínea posee un gen de resistencia diferente, y 10 variedades que poseen algunos de ellos más de un gen de resistencia y se usan desde el 2002 (Cuadro 1). La siembra se realizó en charolas de 20 × 30 cm, donde se marcó con una plancha de acero orificios de 1 cm de diámetro por 2 de profundidad. La

the states of Tlaxcala, Hidalgo, Puebla and the Estado de México; in the 2006 cycle, 253 samples were collected in Tlaxcala and the Estado de México, and during 2007, 40 samples were collected in Tlaxcala and the Estado de México.

Inoculum purification, increase, and inoculation of plants

The samples were taken to the Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz and Trigo (CIMMYT) experimental station in El Batán, Estado de México (19° 31' N and 99° 53' W) for their conservation and increase. The urediniospores from the leaf and spike samples were collected using special nozzles connected to a compressor and stored in gelatin capsules at -55 °C. The rust samples were increased by inoculating the wheat variety Morocco +*Lr19* sown in polystyrene cups; this genotype is resistant to all races of leaf rust in México except for CBJ/QQ (Huerta-Espino and Singh, 1994), but susceptible to all yellow rust races found in México. Five days after sowing all of the Morocco+*Lr19* seedlings were treated with maleic dihydrazide (MH30[®]) to regulate their growth. To obtain pure isolates of each collection, artificial inoculations were carried out on 8 d Morocco +*Lr19* seedlings by suspending the urediniospores in mineral oil (Sotrol 170[®]) and then spraying the suspension over the seedlings. The inoculated seedlings were dried for 20 min, then placed in a dew chamber at 4-7 °C for 48 h, and later moved to a greenhouse (15-18 °C). The isolates were kept in individual plastic cubicles to prevent contamination among them. Fifteen days after inoculation, the urediniospores of each isolate were collected, stored in gelatin capsules, and preserved at 5 to 8 °C.

Planting differential varieties and notetaking

To identify the physiological races, a set of 14 isogenic lines obtained from backcrosses of wheat Avocet-*YrA* was used; each of the 14 isolines possessed a different resistance gene, and 10 varieties used since 2002, some of which possess more than one resistance gene (Table 1). Planting was done in 20×30 cm trays, in which four rows of six holes 1 cm in diameter by 2 cm deep were marked with a 24-rod steel plate. In these holes, six to eight seeds were sown from left to right, and there were four rows and six column. The trays were placed in a rust-free greenhouse, until the second leaf developed completely. Inoculation of the differentials was done in the same way as described for isolate increase and purification. Between 15 and 18 d after inoculation, the infection types that developed in each differential seedling were recorded, for which the visual scale of 0-9 (Table 2) proposed by Roelfs *et al.* (1992) was used.

disposición fue de cuatro hileras y seis columnas y se sembraron seis a ocho semillas de izquierda a derecha. Las charolas se colocaron en un invernadero aislado de plantas infectadas con roya, hasta que la segunda hoja se extendió completamente. La inoculación de los grupos de diferenciales se realizó de la misma manera efectuada en los incrementos y purificaciones de los aislamientos. Entre 15-18 d después de la inoculación se registraron los tipos de infección que se desarrollaron en estado de plántula, para lo cual se usó la escala visual de 0-9) (Cuadro 2) propuesta por Roelfs *et al.* (1992).

Nomenclatura y designación de razas

Para la designación de razas fisiológicas de roya amarilla de trigo en México se usaba el número del aislamiento y el año en que fue identificada, además de la reacción de avirulencia/virulencia mostrada por los genes usados como diferenciales. Ahora se usa la nomenclatura propuesta por Rodríguez *et al.* (2008b) basada en la clasificación de los genes con base en la avirulencia/virulencia y utilizando la notación binaria. Los genes para los cuales existe virulencia en México con su valor binario son: *Yr1*(1), *Yr2*(2), *Yr3*(4), *Yr6*(8), *Yr7*(16), *Yr8*(32), *Yr9*(64), *Yr17*(128), *Yr27*(256), *YrPoll*(512) y *Yr3**(1024); los genes para los que no existe virulencia son: *Yr5*(1), *Yr10*(2), *Yr15*(4), *Yr24*(8), *Yr26*(16) y *YrSp*(32).

También se usa un grupo suplementario de variedades para corroborar la virulencia de algunos genes, pero a éstos ya no se les da valor. Este grupo incluye: Morocco, AOC-*YRA*, AOC+*YRA*, Pavón (*Yr6*, 7), Seri (*Yr2*, 9), Skauz (*Yr9*, 27) y Tam 200(*Yr-Tam200*). De las razas identificadas, aquéllas detectadas con mayor frecuencia se probaron en el set de diferenciales mundiales

Cuadro 1. Líneas isogénicas y variedades usadas en México para describir la variabilidad genética de *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*.

Table 1. Isogenic lines and varieties used in Mexico to describe genetic variability of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*.

No.	Gene <i>Yr</i>	No.	Gene <i>Yr</i>
1	Morocco (Susceptible)	13	Avocet <i>Yr10</i>
2	Avocet- <i>YrA</i>	14	Avocet <i>Yr15</i>
3	Avocet + <i>YrA</i>	15	Avocet <i>Yr17</i>
4	Avocet <i>Yr1</i>	16	Avocet <i>Yr24</i>
5	Kalyansona <i>Yr2</i>	17	Avocet <i>Yr26</i>
6	Nord Desprez <i>Yr3</i>	18	Avocet <i>YrSp</i>
7	Tatara <i>Yr3+</i>	19	Pavón 76 (<i>Yr6+Yr7</i>)
8	Avocet <i>Yr5</i>	20	Seri 82 (<i>Yr7+Yr9</i>)
9	Avocet <i>Yr6</i>	21	Opata 85 (<i>Yr27</i>)
10	Avocet <i>Yr7</i>	22	Skauz (<i>Yr9+Yr27</i>)
11	Avocet <i>Yr8</i>	23	Pollmer TcI (<i>YrPollmer</i>)
12	Avocet <i>Yr9</i>	24	Tam 200 (<i>YrTam200</i>)

Nomenclature and designation of races

To designate physiological races of wheat yellow rust in México, previously, the number of the isolate and the year it was identified were used, as well as the response (avirulence/virulence) exhibited by the genes used as differentials. In this paper, the nomenclature proposed by Rodríguez *et al.* (2008b) is used. This nomenclature is based on the response of the genes on the basis of whether the race is avirulent (differential is resistant) or virulent (differential is susceptible) and uses a binary notation. The following genes, with their binary value, are those for which virulence exists in México: *Yr1*(1), *Yr2*(2), *Yr3*(4), *Yr6*(8), *Yr7*(16), *Yr8*(32), *Yr9*(64), *Yr17*(128), *Yr27*(256), *YrPoll*(512), and *Yr3**(1024); the genes for which no virulence exists are *Yr5*(1), *Yr10*(2), *Yr15*(4), *Yr24*(8), *Yr26*(16), and *YrSp*(32).

Another supplementary group was also used consisting of varieties that would allow confirmation of the virulence of some genes, but no value is given to these. This group includes

Cuadro 2. Respuesta del hospedante (plántulas de trigo) y descripción de las reacciones de infección, usadas para *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, de acuerdo con la escala propuesta por Roelfs *et al.* (1992).

Table 2. Host (wheat seedlings) response and description of infection reactions used for *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, according to the scale proposed by Roelfs *et al.* (1992).

Respuesta del hospedante	Escala	
	0-9	Tipo de infección
Inmune	0	No hay infección visible
Muy resistente	1	Pecas cloróticas/necróticas, sin esporulación
Resistente	2	Estrías cloróticas/necróticas, sin esporulación
Moderadamente resistente	3	Trazas, estrías cloróticas/necróticas, sin esporulación
Ligeramente moderada	4	Ligera esporulación estrías cloróticas/necróticas
Moderada	5	Esporulación intermedia, estrías cloróticas/necróticas
Muy moderada	6	Esporulación moderada, estrías cloróticas/necróticas
Moderadamente susceptible	7	Esporulación abundante, estrías cloróticas/necróticas
Susceptible	8	Esporulación abundante, con clorosis
Muy susceptible	9	Esporulación abundante, sin clorosis.

En la escala de 0-6 se consideran resistentes y de 7-9 se consideran susceptibles (Roelfs *et al.*, 1992) ♦ On the scale, 0 to 6 is considered resistant, and 7 to 9 is considered susceptible (Roelfs *et al.*, 1992).

y europeos, para comparar la virulencia que existe en la población de *P. striiformis* f. sp. *tritici* en los Valles Altos de México con la identificada en otros países.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el ciclo P-V/2005, se identificaron ocho razas fisiológicas, en el ciclo P-V/2006 35 y en P-V/2007 cinco como se muestra en el Cuadro 6.

En el Cuadro 3 se presentan las razas y frecuencia con que fueron encontradas en el Estado de México durante los tres ciclos estudiados. La raza con su fórmula avirulencia/virulencia más frecuente en el Estado de México (en seis de las diez localidades muestreadas) fue la 219MEX0 (*Yr3, Tat, 8, 27, Poll/ Yr1, 2, 6, 7, 9, 17, A*) con 21 %, aunque sólo se presentó en los ciclos 2006 y 2007,

Morocco, AOC-*YrA*, AOC+*YrA*, Pavón (*Yr6*, and *Yr7*) Seri (*Yr2*, and *Yr9*), Kauz (*Yr9, Yr27*), and Tam 200 (*YrTam200*). Of the identified races, those detected more frequently were tested in the set of world and European differentials to compare the virulence that exists in the population of *P. striiformis* f. sp. *tritici* in the High Valleys of México with stripe rust races identified in other countries.

RESULTS AND DISCUSSION

In the 2005 spring-summer crop cycle, eight physiological races were identified; 35 were identified in 2006 and five in 2007, as shown in Table 6.

The races and frequency which were found in the Estado de México during the three crop cycles studied are shown in Table 3. The most frequent race with its respective avirulence/virulence formula

Cuadro 3. Razas fisiológicas de *P. striiformis* f. sp. *tritici* y frecuencia observada en diez localidades del Estado de México, en los ciclos agrícolas P-V/2005, 2006 y 2007.

Table 3. Physiological races of *P. striiformis* f. sp. *tritici* and observed frequency in ten localities in the Estado de México during the 2005, 2006 and 2007 spring-summer crop cycles.

Raza	Estado de México											Frec %	
	Ten	Ame	Chap	Coa	Juch	Nop	Bat	Tem	Tol	Sta. L.	Loc.		
88MEX0						6						1	3
89MEX0				6	6							2	6
90MEX0					6							1	3
91MEX0		6		6	6							3	9
121MEX0				6	6							2	6
123MEX0					6							1	3
216MEX0					6							1	3
218MEX0				6	6							2	6
219MEX0			7	6	6.7		7	7	7	7		7	21
223MEX0			6.7									1	3
251MEX0			6				7					2	6
345MEX0					6							1	3
347MEX0					6							1	3
472MEX0					6							1	6
475MEX0				6	6							2	3
507MEX0	5											1	3
624MEX0				6								1	3
730MEX0										7		1	3
861MEX0					6							1	3
890MEX0					6							1	3
987MEX0					6							1	3
Total	1	1	3	7	15	1	2	1	1	2			

Ten: Tenango; Ame: Amecameca; Chap: Chapingo; Coa: Coatepec; Juch: Juchitepec; Nop: Nopaltepec; Bat: Batán; Tem: Temamatla; Tol: Toluca y Sta. L.: Sta. Lucía; 5: ciclo P-V/2005; 6: ciclo P-V/2006; 7: ciclo P-V/2007; Loc: localidad; Fre: frecuencia ♦ Ten: Tenango; Ame: Amecameca; Chap: Chapingo; Coa: Coatepec; Juch: Juchitepec; Nop: Nopaltepec; Bat: Batán; Tem: Temamatla; Tol: Toluca; and Sta. L.: Santa Lucía; 5: 2005 spring-summer crop cycle; 6: 2006 spring-summer crop cycle; 7: 2007 spring-summer crop cycle; Loc: locality; Fre: frequency.

siendo más frecuente en el 2007. La segunda raza más frecuente fue la 91MEX0 (*Yr3, Tst, 8, 17, 27, Poll/ Yr1, 2, 6, 7, 9, A*) con 9 %, y sólo se identificó en el ciclo P-V/2006 en Amecameca, Juchitepec y Coatepec. En el Estado de México se encontró mayor variabilidad en Juchitepec con 15 razas diferentes, seguida de Coatepec con 7 y Chapingo con 3; en las otras siete localidades sólo se identificaron dos o una raza. Esto posiblemente se debió a que en Coatepec y Juchitepec se estableció un vivero trampa y se logró recolectar un mayor número de muestras que provenían de germoplasma con diferente base genética. De las cuatro razas detectadas previamente sólo se identificaron dos, la 219MEX0 caracterizada por su virulencia para el gen *Yr1* y la 730MEX0 con virulencia para triticales.

was 219MEX0 (*Yr3, Tst, 8, 27, Poll/Yr1, 2, 6, 7, 9, 17, A*), with 21 % in frequency. It was found in six of the ten sites sampled in the Estado de México but identified only during the 2006 and 2007, being more frequent during 2007. The second most frequent yellow rust race identified was 91MEX0 (*Yr3, Tst, 8, 17, 27, Poll/ Yr1, 2, 6, 7, 9, A*) with 9 %, but identified only during the 2006 growing cycle in Amecameca, Juchitepec and Coatepec. In the Estado de México greater variability was found in Juchitepec with 15 different races, followed by Coatepec with 7 and Chapingo with 3. In the other seven localities, only one or two races were identified. This is possibly due to the fact that in Coatepec and Juchitepec a trap nursery was planted enabling a larger number of samples to be collected

Cuadro 4. Razas fisiológicas de *P. striiformis* f. sp. *tritici* y frecuencia observada en 16 localidades del estado de Tlaxcala en los ciclos agrícolas P-V/2005, 2006 y 2007.

Table 4. Physiological races of *P. striiformis* f. sp. *tritici* and observed frequency in 16 localities in the state of Tlaxcala during the 2005, 2006 and 2007 spring-summer crop cycles.

Raza	Tlaxcala															Loc	Fre		
	Tlax	Mad	Rec	Calp	Sanc	Cua	Nana	Zot	Cuam	Solt	Muñ	Terr	Snt.R.	Atlan	San A.			Guad	
88MEX0						6				6								2	4
89MEX0						6	6			6								3	6
90MEX0							6											1	2
91MEX0						6	6	6	6	6	6							5	10
122MEX0										6				6				2	4
123MEX0							6											1	2
217MEX0							6			6								2	4
218MEX0						6.7	6			6	6							4	8
219MEX0				6		6.7	6.7	6	6	6.7		6.7		7	7	7		9	18
223MEX0							6			6								2	4
248MEX0						6												1	2
250MEX0								6		6								2	4
251MEX0								6		6								2	4
345MEX0								6		6								2	4
376MEX0								6		6								2	4
377MEX0						5												1	2
378MEX0			5	5														2	4
382MEX0	5																	1	2
475MEX0								6		6								2	4
478MEX0								6		6								2	4
506MEX0		5	5															2	4
1914MEX0						5												1	2
Total	1	1	2	2	1	1	6	14	2	14	2	1	1	1	1	1			

Tlax: Tlaxco; Mad: Madero; Rec: Recova; Calp: Calpulalpan; Sanc: Sanctorum; Cuam: Cuamantzingo; Solt: Soltepec; Muñ: Muñoz; Terr: Terrenate; Snt. R.: Santa Rosa; Atlan: Atlangatepec; San A: San Andrés y Guad: Guadalupe; 5: ciclo P-V/2005; 6: ciclo P-V/2006; 7: ciclo P-V/2007; Loc: localidad; Fre: Frecuencia ♦ Tlax: Tlaxco; Mad: Madero; Rec: Recova; Calp: Calpulalpan; Sanc: Sanctorum; Cuam: Cuamantzingo; Solt: Soltepec; Muñ: Muñoz; ; Terr: Terrenate; Snt. R.: Santa Rosa; Atlan: Atlangatepec; San A: San Andrés; and Guad: Guadalupe; 5: 2005 spring-summer crop cycle; 6: 2006 spring-summer crop cycle; 7: 2007 spring-summer crop cycle; Loc: locality; Fre: frequency.

En el Cuadro 4 se presenta la variabilidad de razas encontrada durante los ciclos P-V/2005, 2006 y 2007 en 16 localidades del estado de Tlaxcala, donde se identificaron 22 razas diferentes. Las razas 377MEX0, 378MEX0, 382MEX0, 506MEX0 y 1914MEX0 sólo se presentaron en el ciclo P-V/2005 en Tlaxco, Madero, Recova, Calpulalpan, Sanctorum y Cuamantzingo. En este estado la raza más frecuente fue la 219MEX0 con 18 %, en los ciclos 2006 y 2007; la segunda más frecuente fue la 91MEX0 con 10 % y con 8 % la 218MEX0. Las localidades donde se observó mayor variabilidad fue Zotoluca y Soltepec con 14 razas y con seis la localidad de Nanacamilpa. De las razas previamente detectadas sólo se presentaron las razas 219MEX0 y 122MEX0, esta última caracterizada por su virulencia para el gen *Yr8* en particular.

En el Cuadro 5 se indican las razas detectadas en dos localidades del estado de Hidalgo y una del estado de Puebla; la raza 122MEX0 fue la única observada en Singuilucan y Tehuacan, además se presentó en el estado de Tlaxcala (Soltepec y Santa Rosa; Cuadro 4). En las cuatro localidades se identificó en los ciclos P-V/2005 y 2006.

En Singuilucan se encontró mayor variabilidad (22 razas) de *P. striiformis* f. sp. *tritici* (Cuadro 5), seguida de Juchitepec, Estado de México, con 15 razas diferentes (Cuadro 3), y con 14 en las localidades de Zotoluca y Soltepec, Tlaxcala (Cuadro 4).

En el Cuadro 6 se presentan las 39 razas fisiológicas identificadas en los ciclos P-V/2005, 2006 y 2007 en los Valles Altos de México, así como su fórmula de avirulencia/virulencia y la frecuencia con que se encontraron en cada ciclo. La raza con mayor frecuencia (16 %) fue la 219MEX0 (MEX03.37) identificada por primera vez en el 2003. No se identificó en el ciclo P-V/2005, pero en P-V/2006 y 2007 sí estuvo presente. La segunda más frecuente (8 %) fue 91MEX0 que sólo se presentó en el ciclo 2006 y se diferencia de la anterior por su avirulencia para el gen *Yr1*. La tercera raza más frecuente (6 %) fue la 218MEX0, que sólo se presentó en el ciclo 2006. En el ciclo P-V/2005 se identificaron ocho razas, 35 en P-V/2006 y cinco en P-V/2007. En el ciclo P-V/2006 se encontró mayor variabilidad debido a que el número de localidades muestreadas fue mayor a causa de una alta incidencia de la enfermedad para ese ciclo, y en Singuilucan se encontró la mayor variabilidad. Las razas que se presentaron consecutivamente en los ciclos P-V/2005 y 2006, fueron: 122MEX0,

from germplasm with different genetic background. Of the four races detected previously, only two were identified: 219MEX0 characterized by its virulence for the *Yr1* gene and 730MEX0 with virulence on triticale.

In Table 4 it is shown the variability among races during the 2005, 2006, and 2007 spring-summer cycles in 16 localities of Tlaxcala, where 22 different races were identified. Races 377MEX0, 378MEX0, 382MEX0, 506MEX0 and 1914MEX0 were identified only in 2005 in Tlaxco, Madero, Recova, Calpulalpan, Sanctorum and Cuamantzingo. In this

Cuadro 5. Razas fisiológicas de *P. striiformis* f. sp. *tritici* y frecuencia observada en los estados de Hidalgo y Puebla en los ciclos agrícolas P-V/2005, 2006 y 2007.

Table 5. Physiological races of *P. striiformis* f. sp. *tritici* and observed frequency in the states of Hidalgo and Puebla during the 2005, 2006 and 2007 spring-summer crop cycles.

Raza	Hidalgo		Puebla	
	Cárdenas	Singuilucan	Tehuacan	Loc
56MEX0		6		1
88MEX0		6		1
90MEX0		6		1
91MEX0		6		1
120MEX0		6		1
122MEX0		6	5	2
152MEX0		6		1
216MEX0		6		1
218MEX0		6		1
219MEX0		6		1
248MEX0		6		1
250MEX0		6		1
251MEX0		6		1
344MEX0		6		1
346MEX0		6		1
377MEX0		6		1
378MEX0		6		1
379MEX0	5			1
473MEX0		6		1
474MEX0		6		1
475MEX0		6		1
506MEX0		6		1
507MEX0		6		1
Total	1	22	1	

5: ciclo P-V/2005; 6: ciclo P-V/2006; 7: ciclo P-V/2007; Loc: localidad ♦ 5: 2005 spring-summer crop cycle; 6: 2006 spring-summer crop cycle; 7: 2007 spring-summer crop cycle; Loc: locality.

Cuadro 6. Fórmula de avirulencia/virulencia y frecuencias de razas fisiológicas de *P. striiformis* f. sp. *tritici* identificadas en los ciclos P-V/2005, 2006 y 2007.**Table 6. Formula avirulence/virulence and frequencies of physiological races of *P. striiformis* f. sp. *tritici* identified during the 2005, 2006 and 2007 spring-summer crop cycles.**

No.	Raza	Avirulencia/ Virulencia	2005	2006	2007	Loc	Frec (%)
1	56MEX0	<i>Yr1, 2, 3, 9, 17, 27, Poll, Tat/ Yr6, 7, 8, A</i>		X		1	1
2	88MEX0	<i>Yr1, 2, 3, Tat, 8, 17, 27, Poll/ Yr6, 7, 9, A</i>		X		4	4
3	89MEX0	<i>Yr2, 3, Tat, 8, 17, 27/ Yr1, 6, 7, 9, A</i>		X		5	5
4	90MEX0	<i>Yr1, 3, Tat, 8, 17, 27, Poll/ Yr2, 6, 7, 9, A</i>		X		3	3
5	91MEX0	<i>Yr3, Tat, 8, 17, 27, Poll/ Yr1, 2, 6, 7, 9, A</i>		X		9	8
6	120MEX0	<i>Yr1, 2, 3, Tat 17, 27, Poll/ Yr6, 7, 8, 9, A</i>		X		1	1
7	121MEX0	<i>Yr2, 3, Tat, 17, 27, Poll/ Yr1, 6, 7, 8, 9, A</i>		X		2	2
8	122MEX0	<i>Yr1, 3, Tat, 17, 27, Poll/ Yr2, 6, 7, 8, 9, A</i>	X	X		4	4
9	123MEX0	<i>Yr3, Tat, 17, 27, Poll/ Yr1, 2, 6, 7, 8, 9, A</i>		X		2	2
10	152MEX0	<i>Yr1, 2, 3, 8, 9, 27, Poll, Tat/ Yr6, 7, 17, A</i>		X		1	1
11	216MEX0	<i>Yr1, 2, 3, Tat, 8, 27, Poll/ Yr6, 7, 9, 17, A</i>		X		2	2
12	217MEX0	<i>Yr2, 3, Tat, 8, 27, Poll/ Yr1, 6, 7, 9, 17, A</i>		X		2	2
13	218MEX0	<i>Yr1, 3, Tat, 8, 27, Poll/ Yr2, 6, 7, 9, 17, A</i>		X	X	7	6
14	219MEX0	<i>Yr3, Tat, 8, 27, Poll/ Yr1, 2, 6, 7, 9, 17, A</i>		X	X	17	16
15	223MEX0	<i>YrTat, 8, 27, Poll/ Yr1, 2, 3, 6, 7, 9, 17, A</i>		X	X	3	3
16	248MEX0	<i>Yr1, 2, 3, Tat, 27, Poll/ Yr6, 7, 8, 9, 17, A</i>		X		2	2
17	250MEX0	<i>Yr1, 3, Tat, 27, Poll/ Yr2, 6, 7, 8, 9, 17, A</i>		X		3	3
18	251MEX0	<i>Yr3, Tat, 27, Poll/ Yr1, 2, 6, 7, 8, 9, 17, A</i>		X	X	5	5
19	344MEX0	<i>Yr1, 2, 3, Tat, 8, 17, 27, Poll/ Yr6, 7, 9, 27, A</i>		X		1	1
20	345MEX0	<i>Yr2, 3, Tat, 8, 17, Poll/ Yr1, 6, 7, 9, 27, A</i>		X		3	3
21	346MEX0	<i>Yr1, 3, Tat, 8, 17, Poll/ Yr2, 6, 7, 9, 27, A</i>		X		1	1
22	376MEX0	<i>Yr1, 2, 3, Tat, 17, Poll/ Yr6, 7, 8, 9, 27, A</i>		X		2	2
23	377MEX0	<i>Yr2, 3, Tat, 8, 17, Poll/ Yr1, 6, 7, 9, 27, A</i>	X	X		2	2
24	378MEX0	<i>Yr1, 3, Tat, 17, Poll/ Yr2, 6, 7, 8, 9, 27, A</i>	X	X		3	3
25	379MEX0	<i>Yr3, Tat, 17, Poll/ Yr1, 2, 6, 7, 8, 9, 27, A</i>	X			1	1
26	382MEX0	<i>Yr1, Tat, 17, Poll/ Yr2, 3, 6, 7, 8, 9, 27, A</i>	X			1	1
27	472MEX0	<i>Yr1, 2, 3, Tat, 8, Poll/ Yr6, 7, 9, 17, 27, A</i>		X		1	1
28	473MEX0	<i>Yr2, 3, Tat, 8, Poll/ Yr1, 6, 7, 9, 17, 27, A</i>		X		1	1
29	474MEX0	<i>Yr1,3, Tat, 8, Poll/ Yr2, 6, 7, 9, 17, 27, A</i>		X		1	1
30	475MEX0	<i>Yr3, Tat, 8, Poll/ Yr1, 2, 6, 7, 9, 17, 27, A</i>		X		5	5
31	478MEX0	<i>Yr1, Tat, 8, Poll/ Yr2, 3, 6, 7, 9, 17, 27, A</i>		X		2	2
32	506MEX0	<i>Yr1, 3, Tat, Poll/ Yr2, 6, 7, 8, 9, 17, 27, A</i>	X	X		3	3
33	507MEX0	<i>Yr3, Tat, Poll/ Yr1, 2, 6, 7, 8, 9, 17, 27, A</i>	X	X		2	2
34	624MEX0	<i>Yr1, 2, 3, Tat, 6, 17, 27/ Yr7, 8, 9, Poll, A</i>		X		1	1
35	730MEX0	<i>Yr1, 3, Tat, 8, 27/ Yr2, 6, 7, 9, 17, Poll, A</i>			X	1	1
36	861MEX0	<i>Yr2, Tat, 8, 17/ Yr1, 3, 6, 7, 9, 27, Poll, A</i>		X		1	1
37	890MEX0	<i>Yr1, 3, Tat, 17/ Yr2, 6, 7, 8, 9, 27, Poll, A</i>		X		1	1
38	987MEX0	<i>Yr3, Tat, 8/ Yr1, 2, 6, 7, 9, 17, 27, Poll, A</i>		X		1	1
39	1914MEX0	<i>Yr1, 3, 17/ Yr2, Tat, 6, 7, 8, 9, 27, Poll, A</i>	X			1	1
Total			8	35	5		

377MEX0, 378MEX0, 506MEX0 y 507MEX0; las razas 218MEX0, 219MEX0 y 251MEX0 se presentaron en los ciclos P-V/2006 y 2007 (Cuadro 6).

De las 39 razas fisiológicas identificadas, sólo 14 se analizaron por su alta frecuencia en el set de diferencias mundiales y europeos para comparar su virulencia con la de otros países (Cuadro 7). La raza 14E14 por mucho tiempo fue la más común en zonas trigueras de temporal y el Bajío principalmente

state the most frequent race was 219MEX0 with 18% in the 2006 and 2007 cycles. The second most frequent was 91MEX0 with 10 % and 218MEX0 with 8%. The localities in which greater variability was observed were Zotoluca and Soltepec with 14 races and Nanacamilpa with six. Of the previously detected races, only the races 219MEX0 and 122MEX0 were identified, the latter characterized by its virulence for the *Yr8* gene in particular.

Cuadro 7. Comparación de razas fisiológicas de *P. striiformis* f. sp. *tritici* identificadas con el set de diferenciales mundiales y europeos vs set de México.

Table 7. Comparison of physiological races of *P. striiformis* f. sp. *tritici* identified with the world and European differential set and the Mexican set.

Raza Mex	Virulencia	Raza MyE	Virulencia
26MEX0	<i>Yr2</i> , 6, 7, <i>A</i>	14E14	<i>Yr7</i> , 6, 3 <i>V</i> , 7+, 6+, 3 <i>N</i>
730MEX0 (MEX02.28)	<i>Yr2</i> , 6, 7, 9, 17, <i>Poll</i> , <i>A</i>	6E0	<i>Yr7</i> , 6
122MEX0 (MEX02.63)	<i>Yr2</i> , 6, 7, 8, 9, <i>A</i>	38E148	<i>Yr7</i> , 6, <i>SD</i> , 6+, 8, 2+
219MEX0 (MEX03.37)	<i>Yr1</i> , 2, 6, 7, 9, 17, <i>A</i>	135E6	<i>Yr1</i> , 7, 6, 9+, 7+, 6+
472MEX0	<i>Yr6</i> , 7, 9, 17, 27, <i>A</i>	134E132	<i>Yr7</i> , 6, 9+, 6+, 2+
346MEX0	<i>Yr2</i> , 6, 7, 9, 27, <i>A</i>	134E2	<i>Yr7</i> , 6, 9+, 7+
250MEX0	<i>Yr2</i> , 6, 7, 8, 9, 17, <i>A</i>	134E22	<i>Y7</i> , 6, 9+, 7+, 6+, 8
216MEX0	<i>Yr6</i> , 7, 9, 17, <i>A</i>	134E134	<i>Yr7</i> , 6, 9+, 7+, 6+, 2+
251MEX0	<i>Yr1</i> , 2, 6, 7, 8, 9, 17, <i>A</i>	135E150	<i>Yr1</i> , 7, 6, 9+, 7+, 6+, 8, 2+
89MEX0	<i>Yr1</i> , 6, 7, 9, <i>A</i>	199E0	<i>Yr1</i> , 7, 6, <i>SU</i> , 9+
248MEX0	<i>Yr6</i> , 7, 8, 9, 17, <i>A</i>	6E18	<i>Yr7</i> , 6, 7+, 8
88MEX0	<i>Yr6</i> , 7, 9, <i>A</i>	6E2	<i>Yr7</i> , 6, 7+
218MEX0	<i>Yr2</i> , 6, 7, 9, 17, <i>A</i>	6E6	<i>Yr7</i> , 6, 7+, 6+
478MEX0	<i>Yr2</i> , 3, 6, 7, 9, 17, 27, <i>A</i>	70E0	<i>Yr7</i> , 6, <i>SU</i>

(Huerta-Espino y Singh, 2000). Esta raza analizada en el set de diferenciales de México es la 26MEX0 que aunque en la actualidad ya no ha sido detectada, tiene virulencia para los genes *Yr2*, 6, 7, *Sk* y *A*. De las razas detectadas en el 2002, la 730MEX0 se identificó en el Estado de México y se caracteriza principalmente por infectar a triticales y en el set mundial y europeo es la 6E0. La raza 122MEX0 identificada por primera vez en Cd. Obregón, Sonora, con virulencia para *Yr2*, 6, 7, 8, 9 y *A*, corresponde a la raza 38E148 en EE.UU. Otras razas muy similares, pero con virulencia para *Yr8* y 9 principalmente, se identificaron en el 2000 en California (Chen, 2005).

Si se analizara la presencia de las razas encontradas en México y se compara con las encontradas en otros países, en Canadá se observa virulencia para *Compair* (*Yr8* y *Yr19*) y *Clement* (*Yr9* y *YrCle*) desde el 2000 (Su *et al.*, 2003), y en Italia desde 1994 se encontró virulencia para *Yr8*, según Wang y Pasquini (1999), lo que indica la llegada de la virulencia para este gen a México. En el 2003 se identificó la raza 219MEX0 en los Valles Altos, caracterizada principalmente por su virulencia para el gen *Yr1*; en el set de diferenciales mundiales y europeos corresponde a la raza 135E6. La virulencia de este gen en Italia fue observada desde 1994 (Wang y Pasquini, 1999) y en EE.UU. desde el 2000 (Chen, 2005). Tomando en cuenta el set mundial, la raza identificada como 134 con virulencia para los genes *Yr7*, 6, 9+ fue registrada en Etiopía, Kenia, Siria y Yemen (Louwers *et al.*, 1992).

In Table 5 it is shown the races detected in two localities of the state of Hidalgo and one in the state of Puebla; 122MEX0 was the only race observed in Singuilucan and Tehuacan, but it was also present in the state of Tlaxcala (Soltepec and Santa Rosa; Table 4). In the four localities it was identified in the 2005 and 2006 cycles.

The greatest variability (22 races) of *P. striiformis* f. sp. *tritici* (Table 5) was found in Singuilucan, Hidalgo, followed by Juchitepec, Estado de México, with 15 different races (Table 3) and Zotoluca and Soltepec, Tlaxcala, with 14 races (Table 4).

In Table 6 it is shown the 39 physiological races identified during the 2005, 2006 and 2007 spring summer cycles in the High Valleys of México, as well as their avirulence/virulence formula and the frequency with which they were found in each cycle. The most frequent race was 219MEX0 (MEX03.37) with 16 %, identified for the first time in 2003. Although it was not found during the 2005 cycle, it was detected during the 2006 and 2007 cycles. The second most frequent race (8 %) was 91MEX0, which was present only in the 2006 cycle. It is differentiated from the former race by its avirulence for the gene *Yr1*. The third most frequent race was 218MEX0 (6 %), which was identified only during the 2006 cycle. In the 2005 cycle, eight races were identified, 35 in 2006 and five in 2007. During the 2006 spring-summer cycle, greater variability was found since the number of localities sampled was larger due to a high

CONCLUSIONES

Se identificaron 39 razas fisiológicas de roya amarilla de trigo en los Valles Altos de México en los ciclos de cultivo P-V/2005, 2006 y 2007.

De las cuatro razas identificadas antes del presente estudio, sólo se presentaron: 1) la 122MEX0 (MEX02.63), identificada en 2002, caracterizada por infectar al gen *Yr8* y se presentó en los ciclos P-V/2005 y 2006; 2) la 219MEX0 (MEX03.37) detectada en el 2003, se caracterizó por infectar al gen *Yr1* entre otros y se presentó en los ciclos P-V/2006 y 2007; 3) la 730MEX0 (MEX02.28), caracterizada por infectar a triticales principalmente e identificada en el 2002, se detectó sólo en el ciclo P-V/2007.

En los tres ciclos agrícolas estudiados se muestrearon 29 localidades de los estados de Tlaxcala, Hidalgo, Puebla y Estado de México y las razas más predominantes fueron 219MEX0, 91MEX0 y 218MEX0 en 17, 9 y 7 localidades. De las 29 localidades estudiadas, en Singuilucan (Hidalgo), Juchitepec (Estado de México); Zotoluca y Soltepec (Tlaxcala), se observó mayor variabilidad de *P. striiformis* f. sp. *tritici* con 22, 15, 14 y 14 razas presentes en los tres ciclos estudiados.

La raza 219MEX0 es la más frecuente en los Valles Altos de México, infecta la espiga y causa pérdidas importantes en trigo de temporal. En los Valles Altos de México existe virulencia para los genes *Yr1*, *2*, *3*, *6*, *7*, *8*, *9*, *17*, *27*, *Poll* y *A* y avirulencia para los genes *Yr5*, *10*, *15*, *24*, *26* y *Sp*. La siembra de variedades resistentes a las razas más agresivas es la manera más eficiente, económica y no contaminante de controlar la roya amarilla en los Valles Altos de México.

LITERATURA CITADA

- Chen, X. M. 2005. Epidemiology and control of stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) on wheat. *Can. J. Plant Pathol.* 27:314-37.
- Herrera-Foessel, S. A., R. P. Singh, J., Huerta-Espino, J. Yuen, and A. Djurle. 2005. New genes for leaf rust resistance in CIMMYT durum wheats. *Plant Dis.* 89:809-814.
- Huerta-Espino, J., and R. P. Singh. 1994. First report of virulence to wheat with leaf rust resistance gene *Lr19* in Mexico. *Plant Dis.* 78(6): 640.
- Huerta-Espino, J., y R. P. Singh. 2000. Las royas de trigo. In: Villaseñor M. H. E., y R. E. Espitia (eds). *El Trigo de Temporal en México*. Chapingo, Estado de México, México, SAGAR, INIFAP, CIRCE, CEVAMEX. Libro Técnico Núm. 1. pp: 231-249.

incidence of the disease during this cycle; the greatest variability was found in Singuilucan. The races present consecutively in the 2005 and 2006 cycles were 122MEX0 377MEX0, 378MEX0, 506MEX0 and 507MEX0; races 218MEX0, 219MEX0 and 251MEX0 were present in the 2006 and 2007 cycles (Table 6).

To compare their virulence with that of races from other countries (Table 7), of the 39 physiological races identified, only 14 were analyzed in the set of world and European differentials because of their high frequency. For a long time, 14E14 was the most common race in rainfed wheat-producing zones and in El Bajío, mainly (Huerta-Espino and Singh, 2000). This race analyzed in the set of Mexican differentials is the 26MEX0, which, although it has not been detected recently, it has virulence for the genes *Yr2*, *6*, *7*, *27* and *A*. Among the races detected in 2002, 730MEX0 was identified in the Estado de México and is characterized principally by its ability to infect triticales; in the world and European set it is equivalent to 6E0 race. Race 122MEX0, first identified in Ciudad Obregón, Sonora, with virulence for *Yr2*, *6*, *7*, *8*, *9* and *A*, corresponds to the race 38E148 present in the United States. Other very similar races, but with virulence for *Yr8* and *Yr9*, mainly, were identified in 2000 in California (Chen, 2005).

Races found in México were analyzed and compared with those found in other countries. In Canada virulence was observed for Compair (*Yr8* and *Yr19*) and Clement (*Yr9* and *YrCle*) since 2000 (Su *et al.*, 2003). In Italy in 1994 virulence was found for *Yr8*, according to Wang and Pasquini (1999), indicating the arrival of virulence for this gene in México. In 2003, 219MEX0 was identified in the High Valleys; this race is characterized by its virulence for the *Yr1* gene, and in the set of world and European differentials it corresponds to the race 135E6. Virulence for this gene in Italy was first observed in 1994 (Wang and Pasquini, 1999) and in the US in 2000 (Chen, 2005). Taking into account the world set, the race identified as 134 with virulence for the *Yr7*, *6*, *9+* genes was recorded in Ethiopia, Kenya, Syria, and Yemen (Louwers *et al.*, 1992).

CONCLUSIONS

Thirty-nine physiological races of wheat yellow rust were identified in the High Valleys of México

- Line, R. F., and X. Chen 1995. Successes in breeding for and managing durable resistance to wheat rusts. *Plant Dis.* 79(12):1254-1255.
- Louwens, J.M., C.H. V. Silfhout, and R.W. Stubbs, 1992. Race analysis of yellows rust in wheat in developing countries, Report 1990-1992, IPO-DLO report 92-11. 23 p.
- Rodríguez G. M. F., J. Huerta E, y H. E. Villaseñor M. 2008a. Virulencia de *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* en los Valles Altos de México en 2005. *In: XXIII Congreso Nacional y II Internacional de Fitogenética.* Chapingo, México. pp: 217.
- Rodríguez G. M. F., J. Huerta E., y H. E. Villaseñor M. 2008b. Nomenclatura de razas fisiológicas de *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* en México. *In: XXIII Congreso Nacional y II Internacional de Fitogenética.* Chapingo, México. pp: 87.
- Roelfs, A. P., and D. V. McVey. 1972. Wheat stem rust races in the Yaqui Valley of Mexico during 1972. *Plant Dis. Rep.* 56:1038-1039.
- 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.
- Singh, R. P., J. Huerta-Espino, and H. M. William. 2005. Genetics and breeding for durable resistance to leaf and stripe rusts in wheat. *Turk J. Agric. For.* 29: 121-127.
- Singh, R. P., D. Hodson, J. Yuen, J. Huerta-Espino, M. G. Kin-yua, R. Wanyera, P. Njau, and R. W. Ward. 2006. Current status, likely migration and strategies to mitigate the threat to wheat production from race Ug99 (TTKS) of stem rust pathogen. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 2006 1, No. 054.
- Su, H., R. L. Conner, R. J. Graf, and A. D. Kuzyk. 2003. Virulence of *Puccinia striiformis* f. s. *tritici*, cause of stripe rust on wheat, in western Canada from 1984 to 2002. *Can. J. Plant Pathol.* 25:312-319.
- Villaseñor, M. H. E. 2000. Importancia del trigo. *In: Villaseñor, M. H. E., y R. E. Espitia* (eds). *El Trigo de Temporal en México.* Chapingo, Estado de México, México, SAGAR, INIFAP, CIRCE, CEVAMEX. Libro Técnico Núm. 1. pp: 7-22.
- Villaseñor M., H. E., J. Huerta E., A. María R., E. Espitia R., A. Limón O., y M. F. Rodríguez G. 2007. Variedades de trigo para siembras de temporal en el estado de Tlaxcala. INIFAP-CIRCE. S. E. Tlaxcala. Folleto Técnico Núm. 30. 33 p.
- Wang, F., and M. Pasquini. 1999. Virulence of wheat stripe rust in Italy. *Cereal Rusts and Powdery Mildews Bull.* 27: 1-8.
- Zwer, P. K., and C. O. Qualset. 1994. Genes for resistance to stripe rust in four spring wheat varieties. *Euphytica* 74:10-115.
- in the 2005, 2006 and 2007 spring-summer crop cycles.
- Of the four races identified before this study, only the following were present: 1) 122MEX0 (MEX02.63) first identified in 2002, characterized by its virulence for gene *Yr1*, and it was present in the 2006 and 2007 spring-summer cycles; 2) 219MEX0 (MEX03.37) first identified in 2003, characterized for infecting gene *Yr1* among others, and it was present in the 2006 and 2007 spring-summer cycles; 3) 730MEX0 (MEX02.28), characterized by its ability to infect mainly triticales, first identified in 2002, was detected only in the 2007 spring-summer cycle.
- During the three crop cycles studied, samples of yellow rust were collected in 29 localities of the states of Tlaxcala, Hidalgo, Puebla and Estado de México. The prevalent races were 219MEX0, 91MEX0 and 218MEX0 in 17, 9 and 7 localities. Of the 29 localities studied, greater variability of *P. striiformis* f. sp. *tritici* was observed in Singuilucan (Hidalgo), Juchitepec (Estado de México), Zotoluca and Soltepec (Tlaxcala), where 22, 15, 14, and 14 races, were present in the three cycles studied.
- The race 219MEX0 is the most frequent in the High Valleys of México, infecting the spike and causing major losses in rainfed wheat. In the High Valleys of México virulence exists for the genes *Yr1*, *2*, *3*, *6*, *7*, *8*, *9*, *17*, *27*, *Poll* and *A*, and avirulence for the genes *Yr5*, *10*, *15*, *24*, *26*, and *Sp*. Planting wheat varieties resistant to the most aggressive races is the most efficient, economical, and non-polluting way to control yellow rust in the High Valleys of México.

—End of the English version—

-----*-----