

VIRULENCIA DE LA ROYA AMARILLA DEL TRIGO EN LAS PRINCIPALES ZONAS PRODUCTORAS DE RIEGO EN MÉXICO*

VIRULENCE OF THE WHEAT YELLOW RUST IN THE MAIN IRRIGATED PRODUCTION AREAS OF MEXICO

María Florencia Rodríguez García^{1§}, Julio Huerta Espino¹, Héctor Eduardo Villaseñor Mir¹ y Ernesto Solís Moya²

¹Programa de Trigo, Campo Experimental Valle de México INIFAP, km 15.8 carretera Los Reyes-Lechería, Texcoco, Estado de México, C. P. 56230, A. P. 307. Tel. 01 595 9542877 Ext. 127, (j.huerta@cgiar.org), (hevimir3@yahoo.com.mx). ²Programa de Trigo, Campo Experimental Bajío INIFAP, CEBAJ, km 6.5 carretera Celaya-San Miguel de Allende, Celaya, Guanajuato, C. P. 38000, A. P. 112. Tel. 01 461 6115323 Ext. 155, (solis.ernesto@inifap.gob.mx). [§]Autora para correspondencia: flor280281@yahoo.com.mx.

RESUMEN

La roya amarilla del trigo (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) causa pérdidas importantes en el rendimiento en trigo (*Triticum aestivum* L.), sembrado en condiciones de riego, debido a que el hongo tienen la capacidad de evolucionar y por lo tanto vencer la resistencia de las variedades cultivadas. Ante esta problemática se estudio la virulencia de este patógeno en los ciclos de cultivo otoño-invierno 2005-2006 y 2006-2007 en zonas productoras de trigo de riego de los estados de Guanajuato, Jalisco, Sonora y Baja California Norte. Se colectaron hojas y espigas infectadas con roya amarilla, las muestras se procesaron en invernaderos del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). La identificación de razas se realizó utilizando un conjunto de 24 diferenciales de trigo para roya amarilla. En el ciclo otoño-invierno 2005-2006, se identificaron 16 razas fisiológicas y 12 durante el otoño-invierno 2006-2007 en los estados de Baja California Norte, Sonora, Jalisco y Guanajuato. Durante el ciclo otoño-invierno 2005-2006 en Baja California Norte se detectó virulencia para los genes *Yr1*, 2, 6, 7, 8, 9, 17, 27, *Poll* y *A*, en Guanajuato y Sonora para los genes *Yr1*, 2, 6, 7, 8, 9, 17, 27 y *A*. En el ciclo otoño-invierno 2006-2007 en Sonora se detectó virulencia para los genes *Yr1*, 2, 3, 6, 7, 9, 17, 27, *Poll* y *A*. Asimismo, en los estados de Jalisco y Guanajuato se encontró virulencia para

Yr1, 2, 6, 7, 9, 17, 27, *Poll* y *A*. Durante el ciclo de cultivo otoño-invierno 2006-2007 no se detectó virulencia para el gene *Yr8*, en las principales zonas productoras de trigo de riego; pero se determinó la existencia de virulencia para los genes *Yr1*, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 17, 27, *Poll* y *A*. Ninguna de las razas identificadas está asociada con la presencia de un gene de resistencia en particular; pero la presencia de virulencia para *Yr27* y posiblemente la virulencia para *Yr2*, y otros genes de resistencia específicos, pero aún no identificados, hacen que esta enfermedad sea considerada antes de liberar una nueva variedad en especial para aquellas zonas productoras de trigo donde la roya amarilla no era un factor limitante, hasta 2001.

Palabras claves: *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, *Triticum aestivum* L., razas fisiológicas, genes, variedades.

ABSTRACT

Wheat yellow rust caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* could infringe huge losses in the wheat yield crop (*Triticum aestivum* L.), planted under irrigated conditions during the winter season in Mexico. This is in part due to the fact that

* Recibido: Septiembre, 2008
Aceptado: Mayo, 2009

the fungus have the capacity to evolve and overcome previously resistant varieties. Because of the presence of new forms of virulence, during the crop seasons autumn-winter 2005-2006 and 2006-2007 the virulence analysis of this pathogen was carried out in irrigated wheat production areas in the states of Guanajuato, Jalisco, Sonora and Baja California Norte. Rusted leaves and heads were collected and processed at the International Center for Wheat and Maize Improvement (CIMMYT). Race identification was done by means of 24 wheat yellow rust differentials. During the crop season 2005-2006, 16 different races were identified, whereas during 2006-2007 12 races were identified in the states of Baja California Norte, Sonora, Jalisco and Guanajuato. During the crop season of 2005-2006 in Baja California Norte virulence for the resistance genes *Yr1*, 2, 6, 7, 8, 9, 17, 27, *Poll* and *A* were present, whereas in Guanajuato and Sonora virulence for genes *Yr1*, 2, 6, 7, 8, 9, 17, 27, y *A*. was found. During the crop season of 2006-2007 in Sonora virulence for *Yr1*, 2, 3, 6, 7, 9, 17, 27, *Poll* and *YrA* was found. Virulence for the yellow rust resistance genes *Yr1*, 2, 6, 7, 9, 17, 27, *Poll* and *A* were found in the states of Jalisco and Guanajuato. During the season of 2006-2007 virulence for *Yr8* was not found; but virulence for *Yr1*, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 17, 27, *Poll* and *YrA* was present. None of the races identified is associated with the presence of one resistance gene in particular but the presence of virulence for *Yr27*, *Yr2* and some other non-identified race-specific resistance genes obligate to plant breeder to consider the presence of this disease before a new variety is released, specially in those areas where yellow rust was not considered as problem before 2001.

Key words: *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, *Triticum aestivum* L., physiological races, genes, varieties.

INTRODUCCIÓN

El trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) es el cultivo con mayor superficie destinada a la producción mundial y el volumen de su cosecha es mayor que la de cualquier otro alimento. En México las principales regiones trigueras se ubican en el Noroeste, donde se produce 53.3% del total nacional, y en El Bajío que contribuye con 28.3%. En ambas regiones el trigo se produce en el ciclo otoño-invierno (O-I), en condiciones de riego. El 18.4% restante se produce en áreas de temporal, principalmente en el los valles altos de México (SIAP, 2008). La producción de este cereal es

afectada por enfermedades fungosas principalmente y dentro de éstas se encuentra 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*) se han considerado como las enfermedades más destructivas del trigo a nivel mundial y las que más pérdidas han causado (Zwer y Qualset, 1994; Singh *et al.*, 2005). La roya amarilla y de la hoja constantemente amenazan la producción de trigo de temporal y de riego en el país, debido a que no sólo tienen la capacidad de vencer la resistencia específica de variedades nuevas, a través de la evolución hacia nuevos biotipos del patógeno o razas fisiológicas con nuevos genes de virulencia, sino también porque se reproducen rápidamente y porque pueden moverse a distancias muy grandes (Huerta-Espino y Singh, 2000).

Huerta-Espino y Singh (2000) indican que por mucho tiempo la raza 14E14 fue la más común en las zonas de trigo de temporal durante las siembras de verano y en el Bajío durante el invierno y se caracterizaba por su virulencia para los genes *Yr2*, 3, 6, 7, *Sk* (*Yr27*) y *A*, entre otros. En México la siembra de variedades resistentes es la mejor forma como se ha controlado la roya amarilla. Hasta el verano de 2002 las variedades recomendadas por el INIFAP para siembras de riego tenían resistencia a la enfermedad, en el verano de 2003 se observó una nueva raza identificada como MEX03.37 (219MEX0) que se caracterizó por infectar la espiga de diversas variedades que habían sido resistentes, y en el verano de 2004 esta nueva raza venció la resistencia de muchas de las variedades recomendadas para riego como Salamanca S75, Pavón F76, Saturno S86 y Cortazar S94 entre otras, causando graves daños en el rendimiento en trigo de temporal. En el ciclo otoño-invierno de 2004-2005 esta raza también se presentó en regiones como el Valle del Yaqui, Valle del Mayo, Costa de Hermosillo y Costa de Huatabampo en Sonora, Valle de Mexicali en Baja California Norte y El Bajío, de tal manera que en algunos casos se procedió a la aplicación de fungicidas para reducir las pérdidas. La identificación de nuevas formas de virulencia en el patógeno hace necesario la formación y liberación de variedades resistentes a estas nuevas formas del patógeno. Debido a la necesidad de controlar genéticamente esta enfermedad el presente estudio tuvo como finalidad identificar las razas fisiológicas de *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* W. existentes en zonas productoras de trigo de riego en México y de esta manera analizar el espectro de virulencia en las poblaciones de este patógeno.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en los ciclos otoño-invierno 2005-2006 y 2006-2007 de las principales zonas productoras de trigo de riego. Se colectaron muestras de hojas y espigas con urediniosporas del hongo causante de roya la amarilla. En el ciclo otoño-invierno 2005-2006 se colectaron 165 muestras en los estados de Guanajuato, Sonora y Baja California Norte, y durante el ciclo otoño-invierno 2006-2007, se tomaron 88 muestras de los estados de Guanajuato, Jalisco y Sonora. Todas las muestras colectadas se trasladaron y procesaron en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), en el área de royas para su conservación e incremento. Las esporas de las muestras de hojas y espigas se recolectaron utilizando boquillas recolectoras conectadas a un compresor, almacenadas en cápsulas de gelatina y preservadas en refrigeración, posteriormente se incrementaron todas las muestras, sembrando en vasos de unisel la variedad de trigo Morocco+ *Lr19* que es un genotipo resistente a todas las razas de roya de la hoja que existen en México a excepción de CBJ/QQ, pero susceptible a las razas de roya amarilla.

Después de cinco días de sembradas, todas las plántulas de Morocco fueron tratadas con ácido maleico (MH30) para regular su crecimiento. Con el fin de obtener aislamientos

de cada una de las muestras colectadas, se realizaron inoculaciones en las plántulas de Morocco+ *Lr19* de ocho días de edad, ésta se efectuó suspendiendo las urediniosporas en aceite mineral (Sotrol® 170), asperjándose sobre las láminas de las hojas. Las plántulas inoculadas se dejaron secar por un período de 20 min para después pasar a una cámara de rocío con una temperatura de 4-7 °C durante 48 h, después de este período se trasladaron a un invernadero cuya temperatura fluctuó entre 15-18 °C. Cada uno de los aislamientos fueron colocados en jaulas de plástico individuales con el fin de evitar la contaminación de los aislamientos. A los 15 días después de la inoculación, las urediniosporas de cada aislamiento fueron colectadas, cada aislamiento fue identificado y almacenado en cápsulas de gelatina y estos se conservaron en refrigeración a una temperatura de 4 °C. Cada aislamiento se incrementó en Morocco+ *Lr19* para tener esporas suficientes, tanto para inocular las líneas diferenciales como para incrementar posteriormente en caso de una posible identificación de nuevas razas.

Para la identificación de razas fisiológicas se utilizó un conjunto de 24 líneas diferenciales disponibles en fondo de Avocet-*YrA* usadas a partir de 2002, como se indica en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Diferenciales de roya amarilla usadas en México para describir la variabilidad de *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*.

Núm. de diferencial	Gene <i>Yr</i>	Núm. de diferencial	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>Yr27</i>
7	Tatara <i>Yr3+</i>	19	Avocet <i>YrSp</i>
8	Avocet <i>Yr5</i>	20	Pavón 76 (<i>Yr6+Yr7</i>)
9	Avocet <i>Yr6</i>	21	Seri 82 (<i>Yr7+Yr9</i>)
10	Avocet <i>Yr7</i>	22	Opata 85 (<i>Yr27</i>)
11	Avocet <i>Yr8</i>	23	Pollmer Tc1 (<i>YrPollmer</i>)
12	Avocet <i>Yr9</i>	24	Tam 200 (<i>YrTam200</i>)

La siembra de las 24 diferenciales se realizó en charolas de 20 x 30 cm, marcando con una plancha de acero pequeños orificios de 1 cm de diámetro por 2 de profundidad, la disposición fue de cuatro hileras y seis columnas, fueron

sembradas de 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 que se hizo en los incrementos y las purificaciones de las razas previamente descritos. Se tomó la reacción de

infección en estado de plántula a los 15-18 días después de la inoculación; para esto se utilizó la escala visual de 0-9 propuesta por Roelfs *et al.* (1992) como se indica en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Respuesta del hospedante y descripción de las reacciones de infección usadas para registrar el tipo de infección en plántula para *P. striiformis* en trigo, de acuerdo con 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 de esporulación, 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 son resistentes y de 7-9 son susceptibles.

Para la designación de razas fisiológicas de roya amarilla en trigo en México no existe una nomenclatura definida debido a la poca variación existente hasta 2005, y sólo se usaba el número del aislamiento y el año en que fue identificado,

además de la fórmula de avirulencia/virulencia de los genes usados como diferenciales; pero en el presente estudio se utiliza una nomenclatura propuesta por Rodríguez *et al.* (2008), que se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Nomenclatura para describir la virulencia de *P. striiformis* en México.

Virulencia existente									Avirulencia existente									
Código																		
binario	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024	1	2	4	8	16	32	
	<i>Yr1</i>	<i>Yr2</i>	<i>Yr3</i>	<i>Yr6</i>	<i>Yr7</i>	<i>Yr8</i>	<i>Yr9</i>	<i>Yr17</i>	Opata (<i>Yr27</i>)	Poll	Tatara (<i>Yr3</i>)	<i>Yr5</i>	<i>Yr10</i>	<i>Yr15</i>	<i>Yr24</i>	<i>Yr26</i>	<i>YrSP</i>	
Raza																		
730 MEX 0	0	8	3	8	8	4	9	7	23	7	1	0	0	0	2	2	1	
26 MEX 0	0	7	5	9	8	0	0	6	6	4	1	1	0	0	3	4	4	
219 MEX 0	8	8	3	8	8	5	7	7	5	5	4	0	0	0	0	4	0	
122 MEX 0	0	7	4	7	7	7	7	6	4	3	3	0	0	0	0	0	0	
350 MEX 0	0	7	7	8	8	0	9	6	7	4	5	1	0	0	3	3	4	

En la escala de 0-6 son resistentes y de 7-9 son susceptibles.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las razas fisiológicas aisladas por localidad en el ciclo otoño-invierno 2005-2006 fueron cinco en Mexicali, no se detectó virulencia para los genes *Yr3*, *5*, *10*, *15*, *24*, *26* y *Sp* (Cuadro 4). En Roque, Guanajuato se identificaron al igual que en Mexicali cinco razas y no se detectó virulencia para los genes *Yr3*, *5*, *10*, *15*, *24*, *26*, *Sp* y *Pollmer*. En Sonora se identificaron 12 razas fisiológicas pero no se detectó virulencia para los genes

Yr3, *5*, *10*, *15*, *24*, *26*, *Sp* y *Pollmer* al igual que en Guanajuato. De cuatro razas previamente identificadas (219MEX0, 350MEX0, 122MEX0 y 730MEX0), sólo se detectó 350MEX0; esta raza se observó en 1996 por lo que ya no es muy común.

En total, el ciclo de cultivo otoño-invierno 2005-2006 se identificaron 16 razas fisiológicas en las diferentes localidades de los estados de Baja California Norte, Sonora y Guanajuato.

Cuadro 4. Razas fisiológicas de *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* aisladas en campos de trigo de riego en tres estados para el ciclo otoño-invierno 2005-2006.

Estado	Localidad	Raza	Virulencia
BCN	Mexicali	730MEX0	<i>Yr2</i> , <i>6</i> , <i>7</i> , <i>9</i> , <i>17</i> , <i>Poll</i> , <i>A</i>
		346MEX0	<i>Yr2</i> , <i>6</i> , <i>7</i> , <i>9</i> , <i>27</i> , <i>A</i>
		250MEX0	<i>Yr2</i> , <i>6</i> , <i>7</i> , <i>8</i> , <i>9</i> , <i>17</i> , <i>A</i>
		219MEX0	<i>Yr1</i> , <i>2</i> , <i>6</i> , <i>7</i> , <i>9</i> , <i>17</i> , <i>A</i>
		121MEX0	<i>Yr1</i> , <i>6</i> , <i>7</i> , <i>8</i> , <i>9</i> , <i>A</i>
Guanajuato	Roque	347MEX0	<i>Yr1</i> , <i>2</i> , <i>6</i> , <i>7</i> , <i>9</i> , <i>27</i> , <i>A</i>
		251MEX0	<i>Yr1</i> , <i>2</i> , <i>6</i> , <i>7</i> , <i>8</i> , <i>9</i> , <i>17</i> , <i>A</i>
		250MEX0	<i>Yr2</i> , <i>6</i> , <i>7</i> , <i>8</i> , <i>9</i> , <i>17</i> , <i>A</i>
		122MEX0	<i>Yr2</i> , <i>6</i> , <i>7</i> , <i>8</i> , <i>9</i> , <i>A</i>
		91MEX0	<i>Yr1</i> , <i>2</i> , <i>6</i> , <i>7</i> , <i>9</i> , <i>A</i>
Sonora	Valle de Yaqui	504MEX0	<i>Yr6</i> , <i>7</i> , <i>8</i> , <i>9</i> , <i>17</i> , <i>27</i> , <i>A</i>
		376MEX0	<i>Yr6</i> , <i>7</i> , <i>8</i> , <i>9</i> , <i>27</i> , <i>A</i>
		344MEX0	<i>Yr6</i> , <i>7</i> , <i>9</i> , <i>27</i> , <i>A</i>
		250MEX0	<i>Yr2</i> , <i>6</i> , <i>7</i> , <i>8</i> , <i>9</i> , <i>17</i> , <i>A</i>
		251MEX0	<i>Yr1</i> , <i>2</i> , <i>6</i> , <i>7</i> , <i>8</i> , <i>9</i> , <i>17</i> , <i>A</i>
		219MEX0	<i>Yr1</i> , <i>2</i> , <i>6</i> , <i>7</i> , <i>9</i> , <i>17</i> , <i>A</i>
		217MEX0	<i>Yr1</i> , <i>6</i> , <i>7</i> , <i>9</i> , <i>17</i> , <i>A</i>
		216MEX0	<i>Yr6</i> , <i>7</i> , <i>9</i> , <i>17</i> , <i>A</i>
		122MEX0	<i>Yr2</i> , <i>6</i> , <i>7</i> , <i>8</i> , <i>9</i> , <i>A</i>
		121MEX0	<i>Yr1</i> , <i>6</i> , <i>7</i> , <i>8</i> , <i>9</i> , <i>A</i>
		88MEX0	<i>Yr6</i> , <i>7</i> , <i>9</i> , <i>A</i>
		90MEX0	<i>Yr2</i> , <i>6</i> , <i>7</i> , <i>9</i> , <i>A</i>
	Huatabampo	219MEX0	<i>Yr1</i> , <i>2</i> , <i>6</i> , <i>7</i> , <i>9</i> , <i>17</i> , <i>A</i>
	Pueblo Viejo	219MEX0	<i>Yr1</i> , <i>2</i> , <i>6</i> , <i>7</i> , <i>9</i> , <i>17</i> , <i>A</i>

En el ciclo otoño-invierno 2006-2007 se identificaron 12 razas fisiológicas en localidades de los estados de Sonora, Jalisco y Guanajuato. Durante este ciclo no se observó virulencia para el gene *Yr8* en ninguna localidad muestreada, lo que indica que las razas que se aislaron durante el ciclo otoño-invierno 2005-2006 no fueron las mismas que para

el ciclo 2006-2007, a excepción de las que no tenían virulencia para *Yr8*. En Sonora la virulencia para *Yr3* y *Poll* fue rara, pero sí se detectó mayor virulencia para *Yr2*, *Yr17* y *Yr27* principalmente, de las cuatro razas caracterizadas anteriormente se presentaron la 219MEX0 (MEX03.37); 350MEX0 (MEX96.11) y 730MEX0 (MEX02.28)

(Cuadro 5). En la única localidad muestreada del estado de Jalisco no se detectó virulencia para *Yr3* y *Yr8*. En Guanajuato no se detectó virulencia para *Yr3*, *Yr8* y *Yr27*;

de las razas detectas anteriormente sólo se identificó 730MEX0 (MEX02.28) que se reportó en 2002, y en total se identificaron cuatro razas en esta entidad.

Cuadro 5. Razas fisiológicas de *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* encontradas en tres estados para el ciclo otoño-invierno 2006-2007.

Estado	Localidad	Raza	Virulencia
Sonora	Ciudad Obregón El Júpare	219MEX0	<i>Yr1</i> , 2, 6, 7, 9, 17, <i>A</i>
		730MEX0	<i>Yr2</i> , 6, 7, 9, 17, <i>Poll</i> , <i>A</i>
		478MEX0	<i>Yr2</i> , 3, 6, 7, 9, 17, 27, <i>A</i>
		474MEX0	<i>Yr2</i> , 6, 7, 9, 17, 27, <i>A</i>
		350MEX0	<i>Yr2</i> , 3, 6, 7, 9, 27, <i>A</i>
		218MEX0	<i>Yr2</i> , 6, 7, 9, 17, <i>A</i>
		216MEX0	<i>Yr6</i> , 7, 9, 17, <i>A</i>
		88MEX0	<i>Yr6</i> , 7, 9, <i>A</i>
		222MEX0	<i>Yr2</i> , 3, 6, 7, 9, 17, <i>A</i>
		218MEX0	<i>Yr2</i> , 6, 7, 9, 17, <i>A</i>
Jalisco	La Barca	730MEX0	<i>Yr2</i> , 6, 7, 9, 17, <i>Poll</i> , <i>A</i>
		474MEX0	<i>Yr2</i> , 6, 7, 9, 17, 27, <i>A</i>
		472MEX0	<i>Yr6</i> , 7, 9, 17, 27, <i>A</i>
		219MEX0	<i>Yr1</i> , 2, 6, 7, 9, 17, <i>A</i>
Guanajuato	Roque	730MEX0	<i>Yr2</i> , 6, 7, 9, 17, <i>Poll</i> , <i>A</i>
		731MEX0	<i>Yr1</i> , 2, 6, 7, 9, 17, <i>Poll</i> , <i>A</i>
		91MEX0	<i>Yr1</i> , 2, 6, 7, 9, <i>A</i>
	Valle de Santiago	219MEX0	<i>Yr1</i> , 2, 6, 7, 9, 17, <i>A</i>
	Yuriria	219MEX0	<i>Yr1</i> , 2, 6, 7, 9, 17, <i>A</i>

En el Cuadro 6 se enlistan las 23 razas identificadas en los ciclos otoño-invierno 2005-2006 y 2006-2007, su fórmula de avirulencia/virulencia y frecuencia. La raza de mayor frecuencia fue 219MEX0, caracterizada principalmente por infectar al gene *Yr1*, seguida de 730MEX0 caracterizada por su virulencia para triticales.

El estado con mayor número de razas aisladas durante los dos ciclo fue Sonora, donde se identificaron 18 razas. Históricamente, la roya amarilla no era una enfermedad importante hasta 2003 en que la raza 122MEX0 (MEX02.63) se hizo presente; desde entonces, la diversidad de razas se ha incrementado considerablemente año con año, con excepción del ciclo otoño-invierno 2008-2009, que fue un año más cálido y seco en comparación con el ciclo otoño-invierno 2007-2008. Por otra parte, en la región de El Bajío, se tienen datos de que la roya amarilla ha sido importante desde que el trigo se cultiva en la región bajo condiciones de riego durante el invierno. En esta área se identificaron 12 razas; ocho en Guanajuato y cuatro en Jalisco; mientras que en el área de Mexicali en Baja California Norte, se identificaron cinco razas diferentes.

La raza 219MEX0 (MEX03.37), primero identificada en las zonas de temporal y posteriormente en El Bajío, es hoy en día la más común, encontrándose en todas las áreas muestreadas (Cuadro 4 y 5). La segunda raza más común fue 730MEX0 (MEX02.28) que preferentemente ataca triticales y observada por primera vez en 2002; otras razas con virulencia para *Yr Pollmer* están presentes tanto en Sonora, como en Mexicali, Guanajuato y Jalisco, por lo que la siembra de triticales en Sonora y en otras áreas bajo riego, tendrá que ser con variedades resistentes a esta raza. La raza 731MEX0 es una variante de la raza 730MEX0 pero con virulencia a *Yr1*.

Otras de las razas primeramente identificadas en áreas de temporal en México fue la 122MEX0 (MEX02.63) caracterizada por su virulencia a *Yr8*, se identificó en muestras provenientes de Sonora, Guanajuato, mientras que en Mexicali sólo se encontró una variante de ésta (121MEX0) que además de virulencia para *Yr8*, también presentó virulencia para *Yr1*. La raza 350MEX0 (MEX96.11), identificada en México desde 1996, sólo se aisló en Sonora durante el ciclo otoño-invierno 2006-2007.

Cuadro 6. Fórmula de avirulencia/virulencia y frecuencias de razas identificada en los ciclos otoño-invierno 2005-2006 y 2006-2007.

Raza	Avirulencia	Virulencia	Ciclo	Frecuencia
88MEX0	<i>Yr1, 2, 3, Tat, 8, 17, 27, Poll</i>	<i>Yr6, 7, 9, A</i>	2005-2006 y 2006-2007	5
90MEX0	<i>Yr1, 3, Tat, 8, 17, 27, Poll</i>	<i>Yr2, 6, 7, 9, A</i>	2005-2006	1.3
91MEX0	<i>Yr3, Tat, 8, 17, 27, Poll</i>	<i>Yr1, 2, 6, 7, 9, A</i>	2005-2006 y 2006-2007	2.6
121MEX0	<i>Yr2, 3, Tat, 17, 27, Poll</i>	<i>Yr1, 6, 7, 8, 9, A</i>	2005-2006	5
122MEX0	<i>Yr1, 3, Tat, 17, 27, Poll</i>	<i>Yr2, 6, 7, 8, 9, A</i>	2005-2006	5
216MEX0	<i>Yr1, 2, 3, Tat, 8, 27, Poll</i>	<i>Yr6, 7, 9, 17, A</i>	2005-2006 y 2006-2007	2.6
217MEX0	<i>Yr2, 3, Tat, 8, 27, Poll</i>	<i>Yr1, 6, 7, 9, 17, A</i>	2005-2006	1.3
218MEX0	<i>Yr1, 3, Tat, 8, 27, Poll</i>	<i>Yr2, 6, 7, 9, 17, A</i>	2006-2007	2.6
219MEX0	<i>Yr3, Tat, 8, 27, Poll</i>	<i>Yr1, 2, 6, 7, 9, 17, A</i>	2005-2006 y 2006-2007	31.5
222MEX0	<i>Yr1, Tat, 8, 27, Poll</i>	<i>Yr2, 3, 6, 7, 9, 17, A</i>	2006-2007	1.3
250MEX0	<i>Yr1, 3, Tat, 27, Poll</i>	<i>Yr2, 6, 7, 8, 9, 17, A</i>	2005-2006	5
251MEX0	<i>Yr3, Tat, 27, Poll</i>	<i>Yr1, 2, 6, 7, 8, 9, 17, A</i>	2005-2006	2.6
344MEX0	<i>Yr1, 2, 3, Tat, 8, 17, Poll</i>	<i>Yr6, 7, 9, 27, A</i>	2005-2006	1.3
346MEX0	<i>Yr1, 3, Tat, 8, 17, Poll</i>	<i>Yr2, 6, 7, 9, 27, A</i>	2005-2006	3.9
347MEX0	<i>Yr3, Tat, 8, 17, Poll</i>	<i>Yr1, 2, 6, 7, 9, 27, A</i>	2005-2006	5
350MEX0	<i>Yr1, Tat, 8, 17, Poll</i>	<i>Yr2, 3, 6, 7, 9, 27, A</i>	2006-2007	1.3
472MEX0	<i>Yr1, 2, 3, Tat, 8, Poll</i>	<i>Yr6, 7, 9, 17, 27, A</i>	2006-2007	1.3
474MEX0	<i>Yr1, 3, Tat, 8, Poll</i>	<i>Yr2, 6, 7, 9, 17, 27, A</i>	2006-2007	3.9
376MEX0	<i>Yr1, 2, 3, Tat, 17, Poll</i>	<i>Yr6, 7, 8, 9, 27, A</i>	2005-2006	1.3
478MEX0	<i>Yr1, Tat, 8, Poll</i>	<i>Yr2, 3, 6, 7, 9, 17, 27, A</i>	2006-2007	2.6
504MEX0	<i>Yr1, 2, 3, Tat, Poll</i>	<i>Yr6, 7, 8, 9, 17, 27, A</i>	2005-2006	1.3
730MEX0	<i>Yr1, 3, Tat, 8, 27</i>	<i>Yr2, 6, 7, 9, 17, Poll, A</i>	2005-2006 y 2006-2007	7.8
731MEX0	<i>Yr3, 8, 27,</i>	<i>Yr1, 2, 6, 7, 9, 17, Poll, A</i>	2006-2007	1.3

Todas las razas fueron avirulentas a los genes *Yr5, 10, 15, 24, 26 y Sp*.

La raza 88MEX0 podría considerarse como una de las razas menos virulentas, y sólo se observó en Sonora, durante ambos ciclos. Esta raza pudo haber originado la raza 90MEX0 cuando adquirió virulencia para *Yr2*; asimismo, la raza 91MEX0 identificada en Guanajuato en ambos ciclos se originó cuando la raza 90MEX0 adquirió virulencia para *Yr1* (Figura 1). La raza 250MEX0 sólo se identificó en aislamientos de muestras hechas durante el ciclo otoño-invierno 2005-2006, tanto en Mexicali, como en Sonora y Guanajuato, además la variante 251MEX0 virulenta a *Yr1* identificada en Sonora y Guanajuato durante el mismo ciclo.

Las razas 344MEX, 346MEX0 y 347MEX0 que en conjunto suman más de 10% de las razas identificadas, muestran el cambio de virulencia para *Yr2* y *Yr1* respectivamente; estas razas sólo fueron aisladas en Mexicali, Sonora y Guanajuato y sólo durante el ciclo otoño-invierno 2005-2006 pero no

durante el ciclo otoño-invierno 2006-2007. La virulencia para *Yr3* en la raza 347MEX0 dio origen a la raza 350MEX0 (MEX96.11).

Las razas con un valor absoluto bajo indica menor grado de virulencia y cuando aumenta, el grado de virulencia y complejidad de la raza es mayor. Aún cuando el análisis sólo incluyó dos ciclos de cultivo bajo condiciones de riego, las razas identificadas mantienen una relación cercana donde se observan cambios subsecuentes en virulencia (Figura 1). Los cambios importantes en la virulencia de los aislamientos han sido para los genes *Yr1, Yr2, Yr3, Yr8, Yr17, Yr27 y YrPollmer*. También se identificaron casos de ganancia de virulencia para un gene en particular, pero pérdida de virulencia para un segundo gene como en el caso de 122MEX0 y 121MEX0 ilustrado en la Figura 1. Todas las razas son virulentas a *Yr6, 7, 9 y YrA*; además se detectó que existe virulencia para *Yr1* y *Yr17* en todas las áreas muestreadas.

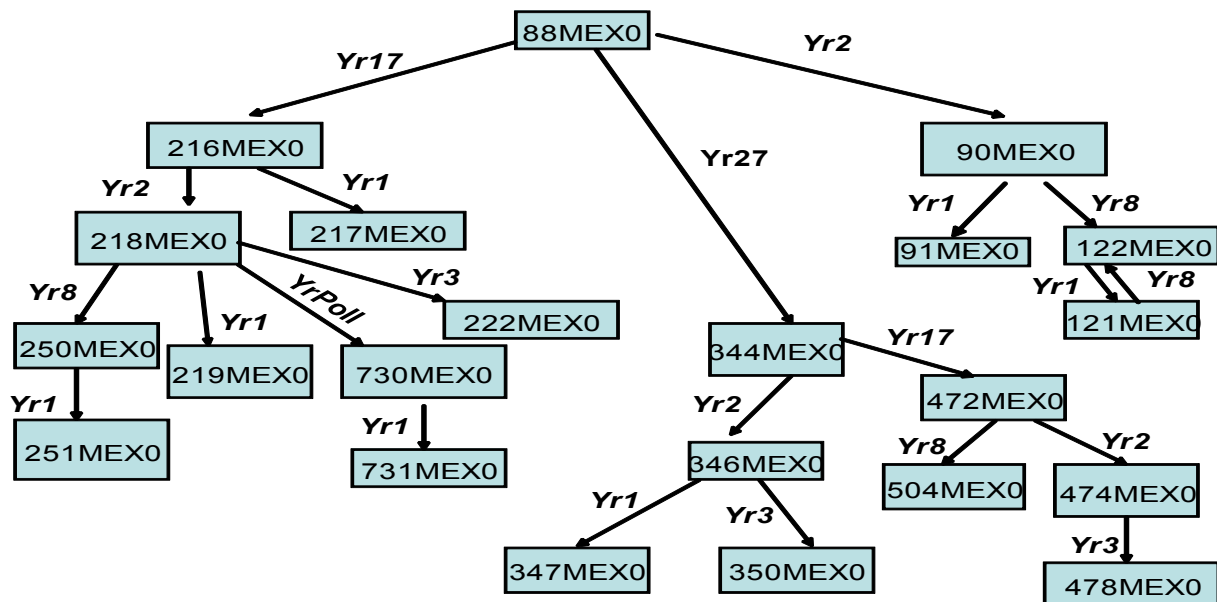


Figura 1. Interrelación basada en avirulencia/virulencia de las diferentes razas de roya amarilla del trigo identificadas durante dos ciclos de riego en México.

Es conveniente aclarar que en México, no se ha cultivado alguna variedad que posea el gene *Yr1*, pero es posible que razas virulentas a *Yr1* se mantengan en pastos y especies silvestres de cebada. Por otro lado variedades como Finsi F2000 y Era F2000 recomendadas para siembras de temporal en el Estado de México, poseen el gene de resistencia *Yr17*, pero la siembra de estas variedades ha sido limitada, y no se puede establecer una hipótesis clara de que estas variedades sean responsables de la aparición de virulencia para *Yr17*.

CONCLUSIONES

En el ciclo otoño-invierno 2005-2006 se identificó virulencia para los genes *Yr1*, 2, 6, 7, 8, 9, 17, 27, *Poll* y *A* no se detectó virulencia para los genes *Yr3*, 5, 10, 15, 24, 26 y *Sp*, presentes en las variedades diferenciales utilizadas. Durante el ciclo otoño-invierno 2006-2007 no se observó virulencia para *Yr5*, 8, 10, 15, 24, 26 y *Sp*.

De las razas previamente identificadas se aislaron para el ciclo otoño-invierno 2005-2006 la 122MEX0 (MEX02.63), 219MEX0 (MEX03.37 y

730MEX0 (MEX02.28), para el ciclo otoño-invierno 2006-2007 la 219MEX0, 350MEX0 (MEX96.11) y la 730MEX0.

La raza más frecuente fue la 219MEX0 caracterizada por infectar al gene *Yr1*, esta raza infecta la espiga causando pérdidas importantes en trigo de temporal y la 730MEX0 caracterizada por infectar a triticales principalmente. Esta ultima conclusión es conocimiento conocido que no es parte de este estudio, podría pasarse a la discusión.

En las principales zonas productoras de trigo de riego existe virulencia para los genes *Yr1*, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 17, 27, *Poll* y *A* y no existe virulencia para los genes *Yr5*, 10, 15, 24, 26 y *Sp*.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Programa de Becas de Investigación de Postgrado (PBIP) para estudiantes mexicanos convocatoria 2005, a los proyectos: CONACYT No. 12163 y Fiscal de Trigo del INIFAP. No. PRECI: 2056029A, por el financiamiento otorgado para la realización de la presente investigación.

LITERATURA CITADA

- Huerta-Espino, J. y Singh, R. P. 2000. Las Royas de Trigo. *In: El trigo de temporal en México*. Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. E. (Eds.) Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro de Investigación Regional-Centro (CIR-CENTRO), Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX). México. p. 231-249.
- Line, R. F. and Chen, X. 1995. Successes in breeding for and managing durable resistance to wheat rusts. *Plant Dis.* Vol. 79 Núm. 12.
- Roelfs, A. P.; Singh, R. P. y Saari, E. E. 1992. Las royas del trigo: conceptos y métodos para el manejo de esas enfermedades México. D. F. CIMMYT. 81 p.
- Rodríguez, G. M. F.; Huerta-Espino, J. y Villaseñor, M. H. E. 2008. Nomenclatura de razas fisiológicas de *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* en México. *In: Congreso Nacional de Fitogenética*. Chapingo, México. Septiembre 2008.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2008. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>.
- Singh, R. P.; Huerta-Espino J. and William, H. M. 2005. Genetics and breeding for durable resistance to leaf and stripe rusts in wheat. *Turkish J. Agric. Forest.* 29:121-127.
- Zwer, P. K. and Qualset, C. O. 1994. Genes for resistance to stripe rust in four spring wheat varieties. *Euphytica* 74:109-115.