

Habilidad competitiva de razas de roya de la hoja provenientes de trigos cristalinos

Julio Huerta Espino¹

Ravi Singh²

Héctor Eduardo Villaseñor Mir¹

María Florencia Rodríguez García^{1§}

Ernesto Solís Moya³

Eduardo Espitia Rangel¹

¹Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco km 13.5, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. Tel. 01 800 0882222, ext. 85355. CP. 56250. (j.huerta@cgiar.org; hevimir3@yahoo.com.mx; espitia.eduardo@inifap.gob.mx). ²Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Carretera México-Veracruz km 4.5, El Batán, Texcoco, Estado de México. CP. 56237. (r.singh@cgiar.org). ³Campo Experimental Bajío-INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel Allende km 6.5, Celaya, Guanajuato. CP. 38000. (solis.ernesto@inifap.gob.mx).

§Autora para correspondencia: rodriguez.maria@inifap.gob.mx.

Resumen

En el proceso de mejoramiento genético de trigo, la evaluación de genotipos por resistencia a royas es fundamental, se tienen que mezclar distintas razas; sin embargo, es primordial conocer su habilidad competitiva y en que genotipo se deben incrementar; por lo que el objetivo del estudio fue medir la habilidad competitiva de cuatro razas de roya de la hoja causada por *Puccinia triticina* E. que atacan trigos cristalinos (*Triticum durum*). El estudio se realizó en invernadero durante el año 2015. Las razas BBG/BN, BCG/BN, BBG/BP y CBG/BP, fueron mezcladas y multiplicadas por tres generaciones sucesivas en genotipos susceptibles (Atil C2001 y Morocco), genotipos resistentes (Samayoa C2004 y Thatcher-Lr16 (RL6005)) además de Júpare C2001 resistente a BBG/BN y BCG/BN, pero susceptible a BBG/BP y CBG/BP. Después de la reproducción de urediniosporas, se obtuvieron 100 aislamientos que se incrementaron en Morocco y se procedió a la identificación. La raza identificada con más frecuencia fue CBG/BP con 46%, seguida de BBG/BP con 34% y BBG/BN con 18%, mientras que BCG/BN fue la menos frecuente con 2%. Solo en urediniosporas del compuesto masal (CM) obtenidos de RL6005 y Morocco permitió identificar las cuatro razas, en Atil C2001, Júpare C2001 y Samayoa C2004 solo se identificaron tres. La raza identificada con más frecuencia en Atil C2001, RL6005 y Samayoa C2004 fue BBG/BP, mientras que en Morocco y Júpare C2001, fue CBG/BP. Se concluye que CBG/BP es más competitiva que BBG/BP, BBG/BN y BCG/BN y se recomienda usarse en la mezcla.

Palabras clave: aislamientos monopostulares, competencia entre razas, razas de roya de la hoja.

Recibido: enero de 2020

Aceptado: febrero de 2020

Introducción

En 2001, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) liberó la variedad de trigo Atil C2001, con alto potencial de rendimiento (Camacho *et al.*, 2001) desarrollada en cooperación con el programa de mejoramiento del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Desafortunadamente, una nueva raza de roya de la hoja (BBG/BN) de origen exótico venció la resistencia no solo de Atil C2001 y Altar C84, también de más de 80% del germoplasma de trigos cristalinos disponibles en México (Singh *et al.*, 2004).

Desde que Altar C84 fue liberada en 1984, la raza más común de roya de la hoja identificada en muestras de trigos cristalinos fue BBB/BN siendo esta solo parcialmente virulenta en la variedad Mexicali C75 y otros trigos harineros cuya resistencia se basa en los genes Lr10, Lr23 o en la combinación de ambos (Singh, 1991) pero a virulenta en Altar C84.

Júpate C2001, se liberó en 2001 por su resistencia a BBG/BN después de evaluar miles de líneas (Singh *et al.*, 2004) y un programa especial urgente de multiplicación de semilla (Camacho *et al.*, 2002).

La resistencia en Júpate C2001 a la raza BBG/BN, se basa en los genes complementarios de resistencia a roya de la hoja Lr27+31 (Herrera-Foessel *et al.*, 2005; Huerta-Espino *et al.*, 2009, 2010). Durante el mismo 2001, se identificó en baja frecuencia otra raza denominada BCG/BN (Singh *et al.*, 2004) que difiere de BBG/BN por su virulencia a Lr26 presente en la translocación 1B.1R proveniente del centeno. La virulencia para este gen en aislamientos de roya de la hoja provenientes de trigos cristalinos se considera innecesaria (Huerta-Espino *et al.*, 2006).

Pues este gen en particular, no se encuentra de manera natural en el genoma de los trigos cristalinos. Posteriormente, en 2004 se liberaron las variedades Samayoa C2004 y Banamichi C2004 con los genes de resistencia Lr14a+ y Lr27+31 respectivamente (Herrera-Foessel *et al.*, 2005). Durante el 2008, una variante de BBG/BN adquirió virulencia para los genes Lr27+31 y el gen de planta adulta Lr12, consecuentemente, Júpate C2001 y Banamichi C2004 se tornaron susceptibles. Esta raza fue designada como BBG/BP (Huerta-Espino *et al.*, 2009).

Durante este mismo ciclo en una frecuencia muy baja, se detectó la raza CBG/BP que venció la resistencia de Storlom y cuya resistencia se basa en el gen Lr3 (Herrera-Foessel *et al.*, 2005). La única diferencia entre las razas CBG/BP y BBG/BP es que la primera posee virulencia para el gen Lr3, mientras que la segunda es a virulenta. La raza BBG/BN desde su introducción en 2001, continúa evolucionando; sin embargo, Samayoa C2004 (Lr14a+), aún mantiene su resistencia, no así Júpate C2001 y Banamichi C2004.

En la actualidad se mantienen en la colección de razas de roya de la hoja las razas BBB/BN con virulencia para las variedades Mexicali C75, DW7276 y los genes de resistencia Lr10, 23, 28 y 33, pero avirulenta en Altar C84 y Atil C2001. Las razas BBG/BN y BCG/BN, son virulentas en Altar C84 y Atil C2001, pero avirulentas a Lr28. La raza BBG/BP es virulenta además de Altar C84 y Atil C2001, a Júpate C2001 y Banamichi C2004, pero avirulenta a Storlom; mientras que CBG/BP es virulenta además de Altar C84 y Atil C2001, a Júpate C2001, Banamichi C2004 y Storlom.

En orden de complejidad (más genes de virulencia) entonces podríamos ubicar a BBG/BN como la menos compleja seguida de BCG/BN, BBG/BP y CBG/BP respectivamente. Para la obtención de aislamientos mono postulares o para incrementar urediniosporas de roya de la hoja, se recomienda el uso de variedades susceptibles y de ser posible que la susceptibilidad sea casi universal como es el caso de la variedad Morocco.

Durante el ciclo de cultivo de trigo otoño-invierno (O-I) 2008-2009, se sugirió al programa de mejoramiento de trigos cristalinos del CIMMYT el uso de la raza CBG/BP para realizar selección en contra de esta raza en el proceso de selección de plantas resistentes en las diferentes generaciones segregantes por presentar un mayor espectro de virulencia, dicha raza venció la resistencia de la variedad Storlom durante el 2008 y apareció ese mismo año junto con BBG/BP, causando pérdidas en la producción en el sur de Sonora de 40 millones de pesos como lo reportan Huerta-Espino *et al.*, 2011, por lo cual, se consideró importante realizar selección hacia esa raza.

Sin embargo, no se obtuvieron resultados satisfactorios, adjudicándose estos a que el bordo susceptible que se usó como dispersante del inóculo no fue el adecuado o a que posiblemente la raza CBG/BP tiene problemas de ajuste o que el hecho de poseer virulencia adicional a Lr3 no la hace apta para sobrevivir en el campo y competir con otras razas de roya de la hoja como BBG/BP. Por tanto, el objetivo del presente estudio; fue medir la habilidad de competencia de cuatro razas de roya de la hoja que preferentemente atacan trigos cristalinos, incluyendo CBG/BP en condiciones de invernadero.

Materiales y métodos

Obtención de aislamientos monopostulares

Se colectaron durante el periodo de 2011-2014 en diferentes predios del sur de Sonora, muestras de hojas con signos de roya de diferentes plantas de trigo cristalino, anotando el nombre de la variedad, localización del predio y el grado de severidad de la enfermedad, así como la fecha en que se colectaron. Las muestras fueron incrementadas en la variedad Atil C2001 y almacenadas en el laboratorio de royas del CIMMYT ubicado en la estación experimental de El Batán, Estado de México, 19° 31' latitud norte y 99° 53' longitud oeste, para realizar el estudio durante el año 2015.

Las esporas de las muestras de hojas se colectaron utilizando boquillas succionadoras conectadas a un compresor y almacenadas en cápsulas de gelatina para preservarlas en refrigeración, posteriormente se incrementaron todas las muestras, en plántulas de la variedad Atil C2001, para lo cual se sembraron en macetas de plástico de 5 x 5 x 8 cm a las que se les agregó una mezcla de tierra estéril y Peat Moss en una proporción 60:40 y sembrando 15 semillas por maceta. Por otra parte, la variedad de trigo Atil C2001 es un genotipo susceptible a las razas BBG/BN, BCG/BN, BBG/BP y CBG/BP al igual que Morocco. Después de cinco días después de la siembra, todas las plántulas, fueron tratadas con ácido maleico (MH30[®]) para regular su crecimiento.

Con el fin de obtener aislamientos monopostulares, de cada una de las muestras colectadas, se realizaron inoculaciones en las plántulas de Atil C2001 de ocho días de edad, ésta se efectuó suspendiendo las urediniosporas en aceite mineral (Sotrol[®] 170; Chevron Phillips Chemical Company, The Woodlands, Texas, Estados Unidos), asperjándose sobre la lámina de las hojas. Las

plántulas inoculadas se dejaron secar por un período de 20 min. y después se pasaron a una cámara de rocío con una temperatura de 20-24 °C durante 16 h y roció al 100%. Después de este período las plántulas inoculadas se trasladaron a un invernadero cuya temperatura fluctuó entre 20-24 °C.

Las plántulas que contenían cada uno de los aislamientos fueron colocado en jaulas de plástico individuales con el fin de evitar la contaminación de los aislamientos. A los ocho días después de la inoculación, cuando las uredíneas fueron visibles pero antes de que rompiesen la epidermis de la hoja, se identificaron de tres a cuatro uredíneas aisladas en diferentes hojas y cuando más de una uredínea estuvo presente, con unas tijeras se eliminaron algunas para dejar una sola uredínea por hoja, esto equivale a cultivos monospóricos en agua-agar de otros hongos, pero en los parásitos obligados como las royas; lo aislamientos monostulares se hacen en plantas vivas.

Cuando las uredíneas alcanzaron su crecimiento máximo, lo que ocurrió 15 días después de la inoculación, las urediniosporas de cada una de las cuatro uredíneas fueron colectadas por separado, lo que dio origen a cuatro aislamientos en particular. Cada aislamiento fue identificado y almacenado en cápsulas de gelatina y estos se conservaron en refrigeración a una temperatura de -5 °C. Todos los aislamientos monostulares obtenidos se incrementaron en Atil C2001 para tener esporas suficientes para inocular las líneas diferenciales.

Identificación de razas fisiológicas

Para la identificación de razas fisiológicas se utilizó un conjunto de 20 líneas diferenciales, arregladas en cinco juegos de cuatro diferenciales cada uno como se indica en el Cuadro 1. Además de las 20 diferenciales; se sembraron otros 28 genotipos de trigo harinero y cristalino que permiten diferenciar las cuatro razas como se indica en el Cuadro 2.

Cuadro 1. Códigos empleados para la designación de razas fisiológicas de *P. triticina* E.

Código	Juegos de diferenciales (Norteamérica)												Juego de diferenciales (México)							
	1				2				3				4				5			
	1	2a	2c	3	9	16	24	26	3ka	11	17	30	3bg	13	15	18	10	19	23	27+31
B	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
C	R	R	R	S	R	R	R	S	R	R	R	S	R	R	R	S	R	R	R	S
D	R	R	S	R	R	R	S	R	R	R	S	R	R	R	S	R	R	R	S	R
F	R	R	S	S	R	R	S	S	R	R	S	S	R	R	S	S	R	R	S	S
G	R	S	R	R	R	S	R	R	R	S	R	R	R	S	R	R	R	S	R	R
H	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S
J	R	S	S	R	R	S	S	R	R	S	S	R	R	S	S	R	R	S	S	R
K	R	S	S	S	R	S	S	S	R	S	S	S	R	S	S	S	R	S	S	S
L	S	R	R	R	S	R	R	R	S	R	R	R	S	R	R	R	S	R	R	R
M	S	R	R	S	S	R	R	S	S	R	R	S	S	R	R	S	S	R	R	S
N	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R
P	S	R	S	S	S	R	S	S	S	R	S	S	S	R	S	S	S	R	S	S
Q	S	S	R	R	S	S	R	R	S	S	R	R	S	S	R	R	S	S	R	R
R	S	S	R	S	S	S	R	S	S	S	R	S	S	S	R	S	S	S	R	S
S	S	S	S	R	S	S	S	R	S	S	S	R	S	S	S	R	S	S	S	R
T	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S

R= resistente; S= susceptible.

Cuadro 2. Líneas y probadoras usadas como diferenciales que incluyen trigos duros.

Gen Lr	Variedad o cruza	Probador	Tipo de infección*
2a	Tc*6/Webster	RL6016	;1
2c	Tc*6/Carina	RL6019	;11+
12	Exchange/6*Tc	RL6011	X(RPA) ^y
14a	Selkirk/6*Tc	RL6013	X
14b	Tc*6/María Escobar	RL6006	;X
20	Thew	W203	;X
25	Transec	RL6084	0;
27+31+10+	Gatcher**	W3720	X ⁻
28	CS2D-2M	CS2D-2M	0;
29	Tc*6/CS7AG#11	RL6080	;1
32	Tetra Canthatch/T.tauschii	RL5497-1	2
33	Tc*6/PI58548	RL6057	22+
36	E84018	E84018	;
13	WL711	WL711	X
23 +	Gaza	Gaza	;
Lr3	Storlom	Storlom	0
LrNd	ND line	ND line	0;
72	Altar C84	Altar C84	0;
27+31+72	Banamichi	Banamichi	X
27+31+72	Júpare C2001	Júpare C2001	X
14a+	Samayoa C2004	Samayoa C2004	X
LrCam	Cirno C2008	Cirno C2008	;
27+31	Inquilab	Inquilab	X
61	Guayacan INIA	Guayacan INIA	X

RPA= resistencia de planta adulta; *= el tipo de infección son basados en la escala del 0-4 (Roelfs *et al.*, 1992), que indican 0= ninguna uredinia presente, no uredinia, pecas cloróticas o necróticas; 1= uredinias pequeñas rodeadas por necrosis; 2= uredinias pequeñas o de tamaño mediano rodeadas por clorosis o necrosis; X= uredinias de tamaño variable distribuidos al azar en una sola hoja. **= Gatcher posee un gen adicional no identificado. Las cuatro razas son virulentas en las diferenciales con los genes Lr14b, 20, 22a, 22b y 33 y avirulentas en los diferenciales que poseen los genes de resistencia Lr1, 2b, 3ka, 3bg, 9, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 24, 25, 26, 29, 30, 32 y 36.

La nomenclatura para la designación de razas se basa en la propuesta por Long y Kolmer (1989) y modificada por Singh (1991). En este sistema, si el genotipo de trigo diferencial es resistente, se infiere que el patógeno es avirulento a este gen de resistencia en particular que la línea diferencial posee, pero si el diferencial es susceptible, se infiere que el patógeno posee virulencia para este gen en particular.

Así cada raza se designa usando cinco consonantes del alfabeto inglés, y cada una de las letras representa en forma codificada la respuesta de cuatro diferenciales mono-génicas. Se usa una diagonal para separar la respuesta de las diferenciales usadas en Norteamérica (Long y Kolmer, 1989) de las diferenciales usadas en México (Singh, 1991). En todos los casos se usó la escala del 0-4 descrita por Roelfs *et al.* (1992).

Pruebas de competencia e identificación de razas fisiológicas

Las razas de roya de la hoja que atacan trigos cristalinos, previamente identificadas como: BBG/BN y BCG/BN (Singh *et al.*, 2004); BBG/BP y CBG/BP (Huerta-Espino *et al.*, 2009, 2010) se multiplicaron separadamente en Atil C2001 (variedad susceptible a estas cuatro razas) para obtener inóculo fresco y así asegurar 100% de germinación, siguiendo la metodología descrita anteriormente en la obtención de aislamientos monostulares, pero las urediniosporas en este caso fueron colectadas en masa. Cuando las uredínias o pústulas estuvieron esporulando al máximo se colectó 1 mg de urediniosporas de cada raza y se mezclaron de manera proporcional y uniforme para obtener una mezcla de las cuatro razas.

Plántulas de ocho días de edad de los genotipos de trigo: Atil C2001, RL6005, Morocco, Samayoa C2004 y Júpate C2001, fueron inoculadas con la mezcla de urediniosporas que contenían las cuatro razas. Cuando los signos de la enfermedad fueron visibles y las urediniosporas tuvieron la esporulación máxima, se colectaron urediniosporas de cada uno de los genotipos para inocular plántulas de ocho días de edad de los cinco genotipos, dando origen a 25 combinaciones entre genotipos e incluyendo entre ellos mismos.

Este proceso de inocular y colectar urediniosporas en masa se repitió por tres generaciones sucesivas en las 25 combinaciones que se colectaron en masa (CM3) y de cada una de las 25 combinaciones se obtuvieron cuatro aislamientos monostulares (AMP), lo que originó 100 aislamientos. Los 100 aislamientos se incrementaron en la variedad Morocco ya que es un genotipo más susceptible que Atil C2001, lo que permitió obtener suficiente inóculo y proceder a la identificación de razas.

Se sembraron un total de 125 juegos de diferenciales; 25 de ellos fueron inoculados con el compuesto masal (CM3) de las cuatro razas y los 100 restantes con cada uno de los aislamientos obtenidos a partir de las cuatro pústulas individuales de cada una de las 25 combinaciones que se obtuvieron después de tres generaciones sucesivas en variedades con diferentes niveles de resistencia (CM3).

La habilidad competitiva entre razas se determinó por la frecuencia con que cada una de las cuatro razas fue identificada, bajo el supuesto de que no hay diferencia competitiva entre ellas o en caso de que exista, se verá reflejado por una mayor frecuencia en aquellas con mayor habilidad competitiva comparada con la menos frecuente y por consiguiente con menor habilidad competitiva, bajo las condiciones del trabajo.

Resultados y discusión

Después de inocular las 25 diferenciales con las urediniosporas provenientes del compuesto masal (M3) de cada genotipo, no se observó diferencia entre ellas. Sin embargo, es importante hacer notar que no fue posible hacer una identificación de razas adecuada, pues las diferenciales clave en este caso, Lr3, Lr26, Lr27+31 presentaron los dos tipos de infección posibles (reacción de resistencia y susceptibilidad), lo que indicó que al menos dos razas estuvieron representadas en cada una de las 25 mezclas.

La prueba de los 100 aislamientos permitió identificar las cuatro razas con las que se inició el estudio. Los resultados se enlistan en el Cuadro 3 agrupados por la variedad en que se obtuvieron las tres generaciones de reproducción asexual en forma sucesiva. Al agrupar las cuatro razas, se determinó que la raza CBG/BP, fue la más común, seguida de BBG/BP y BBG/BN, la raza que se identificó en menor frecuencia fue la raza BCG/BN como se ilustra en los Cuadros 3 y 4.

Cuadro 3. Frecuencia de razas identificadas en cada una de las combinaciones compuesto masal-aislamiento monopostular.

Núm. de compuesto masal	Combinación CM-aislamiento monopostular	Razas identificadas (%)			
		CBG/ BP	BBG/ BP	BBG/ BN	BCG/ BN
1	Morocco-Morocco	3	0	0	1
2	Morocco-Júpare	2	1	1	0
3	Morocco-Atil	2	1	1	0
4	Morocco-Samayoa	4	0	0	0
5	Morocco-RL6005	2	2	0	0
6	Júpare- Morocco	3	1	0	0
7	Júpare-Júpare	4	0	0	0
8	Júpare-Atil	2	1	1	0
9	Júpare-Samayoa	2	1	1	0
10	Júpare-RL6005	2	1	1	0
11	Atil-Morocco	2	1	1	0
12	Atil-Júpare	3	1	0	0
13	Atil-Atil	1	1	2	0
14	Atil-Samayoa	0	4	0	0
15	Atil-RL6005	2	2	0	0
16	Samayoa-Morocco	0	2	2	0
17	Samayoa-Júpare	2	2	0	0
18	Samayoa-Atil	2	2	0	0
19	Samayoa-Samayoa	1	0	3	0
20	Samayoa-RL6005	1	3	0	0
21	RL6005-Morocco	1	2	0	1
22	RL6005-Júpare	3	1	0	0
23	RL6005-Atil	0	2	2	0
24	RL6005-Samayoa	0	2	2	0
25	RL6005-RL6005	2	1	1	0
	Total (%)	46	34	18	2

Cuando se comparó la frecuencia de razas identificadas a partir de la variedad donde se obtuvieron los aislamientos monopostulares con la frecuencia de razas identificadas tomando como base donde se hicieron las multiplicaciones en masa, se observaron diferencias no en el total de razas, pero si en la frecuencia individual de éstas (Cuadro 4).

Cuadro 4. Frecuencia de razas de trigos duros identificadas en cada uno de los compuestos masales por variedad.

Compuesto masal (CM)	Razas identificadas (%)			
	CBG/BP	BBG/BP	BBG/BN	BCG/BN
Morocco	13	4	2	1
Júpare C2001	13	4	3	0
Atil C2001	8	9	3	0
Samayoa C2004	6	9	5	0
RL6005	6	8	5	1
Total (%)	46	34	18	2

Cuando se multiplicaron los aislamientos en un genotipo en particular y en este mismo se hicieron los aislamientos monopostulares, solo se identificaron las cuatro razas con que se inició el estudio en Morocco y RL6005. Se observó la presencia de tres razas en la combinación Atil-Atil y RL6005-RL6005, dos razas en las combinaciones Morocco-Morocco y Samayoa-Samayoa y solo una raza en la combinación Júpare-Júpare (Cuadro 5). En este caso la raza más frecuente fue CBG/BP, seguida de BBG/BN y BBG/BP y la menos frecuente BCG/BN (Cuadro 5).

Cuadro 5. Frecuencia de razas de trigos duros identificadas en base a la variedad donde se realizó el aislamiento monopostular.

Aislamiento monopostular	Raza identificada y frecuencia (núm. = %)			
	CBG/BP	BBG/BP	BBG/BN	BCG/BN
Morocco	9	6	3	2
Júpare C2001	14	5	1	0
Atil C2001	7	7	6	0
Samayoa C2004	7	7	6	0
RL6005	9	9	2	0
Total	46	34	18	2

Por otra parte, se observó que cuando las razas se incrementaron por separado en Atil C2001, siguieron prosperando, pero cuando se realizó la mezcla se manifestó la habilidad competitiva de las razas, y en el genotipo Atil C2001 no se recuperó la raza (BCG/BN) con menor habilidad competitiva.

Autores como Matens (1973) indica que existen diferencias en la habilidad competitiva entre razas de hongos fitopatógenos y la capacidad para sobrevivir en mezclas de razas varía considerablemente; estudios de Watson y Singh (1952) con *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* y Leonard (1969), con *P. graminis* f. sp. *Avenae*.

Indicaron que las razas simples en mezclas fueron más predominantes que las razas más complejas en términos de genes de virulencia. Sin embargo, Katsuya y Green (1967); Osoro y Green (1976) en estudios con mezclas de razas de roya del tallo en trigo no pudieron establecer una relación clara entre sobrevivencia y la complejidad de las razas.

En estudios con mezclas de razas de hongos, en el invernadero, se ha reportado que algunas razas tienden a dominar cuando se inoculan en genotipos susceptibles. Watson (1942) encontró que la raza 34 de roya del tallo siempre se mantuvo e inclusive aumentaba en frecuencia, pero la raza 147 siempre era eliminada de la mezcla después de varias generaciones sucesivas en un genotipo susceptible. La raza 34 difiere de la raza 147 en que 34 es virulenta a Sr9d y a virulenta a Sr9e, mientras que la raza 147 es a virulenta a Sr9d, pero virulenta a Sr9e (Stakman *et al.*, 1962).

Resultados similares han sido reportados en *P. graminis* f. sp. *tritici* (Browder, 1965; Katsuya y Green, 1967; Watson y Luig, 1968) y en *P. graminis* (Irish, 1950), *Phytophthora infestans* (Thurston, 1961), *Tilletia caries* y *T. foetida* (Rodenhiser y Holton, 1953). En la mezcla de razas de *Colletotricum graminicola* con diferencias en su rango de virulencia e inoculadas en plantas de sorgo bajo condiciones de invernadero por cinco y seis generaciones sucesivas.

Encontró que el aislamiento con el rango más pequeño de virulencia predominó sobre aislamientos más complejos y existieron diferencias en la capacidad de sobrevivencia en las razas (Casela *et al.*, 2001); Watson (1958) concluyó que razas de *P. graminis* con mayor número de genes de virulencia fueron incapaces de mantenerse en la población en genotipos susceptibles en relación con razas con un menor número de genes de virulencia.

Resultados similares fueron reportados por Black (1952) en *P. infestans* y Flor (1956) en *Melanpsora lini*. Por otra parte, muchos investigadores creen que las razas con un mayor número de genes de virulencia son las menos competitivas y no sobreviven cuando se crecen en genotipos susceptibles e indican que existe una correlación negativa en la capacidad de sobrevivencia y el número de genes de virulencia en una raza determinada, inclusive Vander plank (1968) considera que virulencia innecesaria reduce la capacidad de sobrevivir y puede prevenir que razas altamente virulentas sean abundantes en el campo. Tal podría ser el caso de la raza BCG/BN que tiene virulencia innecesaria para Lr26 (Huerta-Espino *et al.*, 2006). Existe evidencia que ciertos factores como la temperatura y la densidad de inóculo determina que ciertas razas de *P. graminis* sobrevivan en competencia o no.

A partir de 2001 en que la raza BBG/BN que venció la resistencia de Altar C84 y Atil C2001 fue identificada en México, la mayoría de los aislamientos monopostulares de roya de la hoja provenientes de muestras de trigos cristalinos, se realizaron en la variedad Atil C2001. Indudablemente, con esto se eliminaron otras posibles razas a virulentas en Atil C2001 o Altar C84, consecuentemente la frecuencia con que se identificó BBB/BN que es la raza anterior al 2001 y típica de trigos cristalinos fue mucho menor (Bárcenas-Santana *et al.*, 2015).

Para evitar lo anterior; se determinó que todos los aislamientos monopostulares de roya de la hoja independientemente de su origen se deben realizar en la variedad susceptible Morocco. En el presente estudio además de indicar la dominancia de una raza en particular que podría tener una mayor habilidad competitiva, también permitió medir el efecto del genotipo donde se multiplican las muestras de campo y el efecto del genotipo donde se realizan los aislamientos monopostulares.

Se esperaría que las cuatro razas con que se inició el estudio se recuperaran en la misma frecuencia suponiendo que las cuatro tienen la misma habilidad competitiva y que los genotipos de trigo utilizados en el estudio no ejercen una presión de selección permitiendo la infección de una(s)

raza(s), pero no de otra(s). Coincidentemente, las razas que se identificaron en mayor proporción son las razas de identificación más recientemente CBG/BP y BBG/BP identificadas en 2008 (Huerta-Espino *et al.*, 2009) y consecuentemente las que poseen más genes de virulencia comparadas con BBG/BN y BCG/BN identificadas en el 2001 (Singh *et al.*, 2004) y que poseen menos genes de virulencia.

La frecuencia con que se identificó a CBG/BP con virulencia adicional a Lr3 en comparación con BBG/BP sugeriría que la virulencia adicional sobre Lr3 trae también consigo mayor habilidad competitiva, la cual a la vez adquirió virulencia para los genes complementarios Lr27+31 en comparación con la raza BBG/BN que se puede considerar como la raza base o raza original. Bajo este criterio, la raza BCG/BN debería tener mayor habilidad competitiva que la raza BBG/BN al adquirir virulencia a Lr26; sin embargo, en el presente estudio, fue la raza identificada con menos frecuencia.

Una posible explicación es que Lr26 es un gen de resistencia proveniente del centeno y si bien fue común en los trigos harineros cultivados en México por un tiempo, incluyendo Seri M82 y Bacanora T88 (Singh, 1993), nunca ha estado presente en variedades de trigo cristalino liberadas en México, aunque existan genotipos cristalinos con este gen de resistencia (Mujeeb-Kazi *et al.*, 1996). También se puede deber a que el adquirir virulencia para Lr26, perdió su habilidad competitiva como es el caso de la raza 147 de roya del tallo al adquirir virulencia para Sr9e, perdió virulencia para Sr9d (Watson, 1942) y su habilidad competitiva.

La raza BBG/BP para poder causar la epidemia en Júpare C2001 y Banamichi C2004 en campos comerciales de trigo en Sonora durante el ciclo 2007-2008 debió tener además de virulencia adicional para Lr27+31 adaptaciones a las condiciones del Sur de Sonora (Huerta-Espino *et al.*, 2009, 2010). CBG/BP por otro lado venció la resistencia de Storlom aunque no es una variedad comercial, esta se usa extensivamente en el programa de mejoramiento y posiblemente pasó por el mismo mecanismo de adaptación que BBG/BP.

La mayor habilidad competitiva de BBG/BP y CBG/BP con mayor número de genes de virulencia que las razas BBG/BN y BCG/BN con menor número de genes de virulencia concuerda con lo reportado por Watson y Luig (1968) quienes mostraron que bajo condiciones de invernadero, independientemente de las proporciones iniciales de las razas en competencia, las razas con un mayor número de genes de virulencia fueron las más predominantes después de cuatro generaciones sucesivas de urediniosporas, una generación más que en el presente estudio.

De la misma forma, Brown y Sharp (1969) reportaron que las razas de roya amarilla del trigo con el mayor número de genes de virulencia (más complejas) predominaron en competencia, independientemente de la proporción de cada tipo en la mezcla de razas; sin embargo, las razas menos complejas prevalecieron, aunque en una proporción baja después de siete generaciones sucesivas de urediniosporas.

Existen sin embargo dos tendencias claras; en las razas identificadas en 2001 (BBG/BN y BCG/BN) la virulencia innecesaria para Lr26 aparentemente es negativa en términos de competencia, mientras que en las razas identificadas en 2008 la virulencia adicional para Lr3 en la raza CBG/BP, le confiere mayor habilidad competitiva.

Conclusiones

En el presente estudio se pudo identificar que existen diferencias en la habilidad competitiva de las cuatro razas involucradas en el estudio y estas diferencias son influenciadas tanto por el genotipo donde se multiplicó el inóculo por tres generaciones sucesivas (compuesto masal CM) como por el genotipo donde se hicieron los aislamientos monopostulares.

La raza CBG/BP fue la más frecuente y competitiva e identificada en las colecciones del CM de Júpare y Morocco, así como también en la obtención de los AMP e inclusive en las combinaciones Júpare-Júpare y Morocco-Morocco en la relación CM-AMP. En el caso de Júpare esta dominancia se podría atribuir a la presencia de los genes complementarios Lr27+31 que determina la resistencia de Júpare y que estos genes fueron los que el patógeno tuvo que vencer para poder causar la epidemia tanto en Júpare como en Banamichi y en el caso de Morocco, solo se demuestra la habilidad de competencia de la raza cuando no existen genes de resistencia.

Las cuatro razas con las que se inició el estudio solo fueron recuperadas cuando el CM se realizó en la variedad susceptible Morocco y también cuando los aislamientos monopostulares se realizaron en esta misma variedad, lo que sugiere que para evitar eliminar razas con baja habilidad competitiva o razas nuevas con distintas capacidades de virulencia tanto en el inicio de purificación de muestras como la obtención de aislamientos monopostulares se deben de hacer en la variedad Morocco.

Literatura citada

- Bárceñas, S. D.; Huerta-Espino, J.; Leyva-Mir, S. G.; Villaseñor-Mir, H. E. y Rodríguez-García M. F. 2015. Identificación de razas fisiológicas de roya de la hoja causada por *Puccinia triticina* en trigo cultivado en el sur sonora, México. *In: XVLL Congreso Internacional y XLII Congreso Nacional de Fitopatología*. 33 (Sup):141-142.
- Black, W. 1952. A genetical basis for the classification of strains of *Phytophthora infestans*. *Roy. Soc. Edinburgh Proc.* 65(1):36-51.
- Browder, L. E. 1965. Aggressiveness in *Puccinia graminis* var *tritici*. *Diss Abstr.* 26(6):2965.
- Brown, J. F. and Shar, E. L. 1969. The relative Survival Ability of Pathogenic Types of *Puccinia striiformis* in Mixtures. *Phytopathology*. 60(3):529-533.
- Camacho, C. M.; Figueroa, L. P. y Huerta-Espino J. 2002. Júpare C2001: nueva variedad de trigo duro para su cultivo en el noroeste de México. SAGARPA. INIFAP. Centro de Investigación Regional del Noroeste, Campo Experimental Valle del Yaqui. Folleto técnico núm. 47. 16 p.
- Camacho, C. M.; Figueroa, L. P.; Huerta-Espino, J.; Martínez, S. J. y Félix, V. P. 2001. Tarachi F2000 y Atil C2000: nuevas variedades de trigo para el noroeste de México. SAGARPA. Centro de Investigación Regional del Noroeste-Campo Experimental Valle del Yaqui. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Folleto técnico núm. 43. 24 p.
- Casela, C. R.; Ferreira, A. S. and Santos. F. G. 2001. Differences in competitive ability among races of *Colletotrichum graminicola* in mixtures *Fitopatol. Bras.* 26(2):217-219.
- Flor, H. H. 1956. The complementary genic system in flax and flax rust. *Advances Gen.* 8(1):29-54.

- Herrera-Foessel, S. A.; Singh, R. P.; Huerta-Espino, J.; Yuen, J. and Djurle, A. 2005. New genes for resistance to leaf rust in CIMMYT durum wheats. *Plant Dis.* 89(8):809-814.
- Huerta, E. J.; Singh, R. P.; Leyva, M. G; Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. E. 2006. Virulencia innecesaria en aislamientos de *Puccinia triticina* virulencia innecesaria en aislamientos de *Puccinia triticina* E. In: XXXIII Congreso Nacional de Fitopatología y VIII Congreso Internacional de Fitopatología, Manzanillo Colima México. C138. 215 p.
- Huerta-Espino, J.; Singh, R. P.; Germán, S.; McCallum, B. D.; Park, R. F.; Chen, W. Q.; Bhardwaj, S. G. and Goyeau, H. 2011. Global status of wheat leaf rust caused by *Puccinia triticina*. *Euphytica.* 179(1):143-160.
- Huerta-Espino, J.; Singh, R. P.; Herrera-Foessel S. A. y Pérez-López B. 2010. Evolución de *Puccinia triticina* E. causante de la roya de la hoja de trigos cristalinos en México. In: XII Congreso Internacional/XXXVII Congreso Nacional de Fitopatología, Mérida Yucatán México. C2-15. 230 p.
- Huerta-Espino, J.; Singh, R. P.; Herrera-Foessel, S. A.; Perez-Lopez, J. B. and Figueroa-López, P. 2009. First detection of virulence in *Puccinia triticina* to resistance genes Lr27+Lr31 present in durum Wheat in Mexico. *Plant Dis.* 93(1):110.
- Irish, K. R. 1950. Studies in competition among physiological races of the leaf rust of wheat *Phytopathology.* 40(5):871-872.
- Katsuya, K. and Green, G. J. 1967. Reproductive potentials of races 15B and 56 of wheat stem rust. *Can J. Bot.* 45(7):1077-1081.
- Leonard, K. J. 1969. Selection in heterogeneous populations of *Puccinia graminis* f. sp. *avenae*. *Phytopathology.* 59(12):1851-1857.
- Long, D. L. and Kolmer, J. A. 1989. A North American system of nomenclature for *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*. *Phytopathology.* 79(5):525-529.
- Martens, J. W. 1973. Competitive ability of oat stem rust strains in mixtures. *Canadian J. Bot.* 51(11):2233-2236.
- Mujeeb-Kazi, A.; William, M. D. and Islam-Faridi, M. N. 1996. Homozygous 1B and 1BL/1RS chromosome substitutions in *Triticum aestivum* and *T. turgidum* Cultivars. *Cytologia.* 61(2):147-154.
- Osoro, M. O. and Green, G. J. 1976. Stabilizing selection in *Puccinia graminis tritici* in Canada. *Canadian J. Bot.* 54(19):2204-2214.
- Rodenhiser, H. A. and Holton, C. S. 1953. Differential survival and natural hybridization in mixed spore population of *Tilletia caries* and *T. foetida*. *Phytopathology.* 43(4):558-560.
- Roelfs, A. P.; Singh, R. P. and Saari, E. E. 1992. Rust diseases of wheat: concepts and methods of disease management. CIMMYT. El Batán, Texcoco, Estado de Mexico. Manual técnico. 81 p.
- Singh, R. P. 1991. Pathogenicity variations of *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* and *P. graminis* f. sp. *tritici* in wheat-growing areas of Mexico during 1988 and 1989. *Plant Dis.* 75(8):790-794.
- Singh, R. P. 1993. Resistance to leaf rust in 26 Mexican wheat cultivars. *Crop Sci.* 33(3):633-637.
- Singh, R. P.; Huerta-Espino, J.; Pfeiffer, W. and Figueroa-López, P. 2004. Occurrence and impact of a new leaf rust race on durum wheat in northwestern Mexico from 2001 to 2003. *Plant Dis.* 88(7):703-708.
- Stakman, E. C.; Stewart, D. M. and Loegering, W. Q. 1962. Identification of physiologic races of *Puccinia graminis* var. *tritici*. United States Department of Agriculture. Agric. Res. Serv. E617 Bulletin. 53 p.

- Thurston, H. D. 1961. The relative survival ability of races of *Phytophthora infestans* in mixtures
Phytopathology. 51(4):748-755.
- Van der Plank, J. E. 1968. Disease resistance in plants. Academic Press, N.Y. & London. 206 p.
- Watson, I. A. 1942. The development of physiological races of *Puccinia graminis tritici* singly and
in association with others. Linnean Soc. N.S. Wales Proc. 67(3):294-312.
- Watson, I. A. 1958. The present status of breeding disease resistant wheats in Australia. Agri. Gaz.
N. S. Wales. 69(12):630-660.
- Watson, I. A. and Singh, D. 1952. The future for rust resistant wheat in Australia. J. Australian
Institute Agric. Sci. 18(4):190-197.
- Watson, I. A. and Luig, N. H. 1968. The ecology and genetics of Host-Pathogen relationships in
wheat rust in Australia. *In*: K. W. 227-238 p.