

Resistencia a roya amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) en variedades de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.)*

Genetics of the resistance to yellow rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) in varieties of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivated in Bajío

Julio Huerta Espino¹, Rocío Torres García¹, María Florencia Rodríguez García¹, Héctor Eduardo Villaseñor Mir^{1§}, Santos Gerardo Leyva Mir² y Ernesto Solís Moya³

¹Campo Experimental Valle de México. INIFAP. Carretera Los Reyes-Textcoco, km 13.5. Coatlinchán, Textcoco, Estado de México. C.P.56260. Tel.015959212657 (huerta.julio@inifap.gob.mx), (rociotg@hotmail.com), (rodriguez.maria@inifap.gob.mx). ²Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Textcoco, km 38.5. C. P. 56230. Tel: 015959521500.Ext.6179. (lsantos@correo.chapingo.mx). ³Campo Experimental Bajío- INIFAP. C. P. 112.38000, Celaya Guanajuato, México. Tel. 014616115323. [§]Autor para correspondencia: hevmit@yahoo.com.mx.

Resumen

Las variedades de trigo harinero Cortazar S94, Bárcenas S2002, Urbina S2007 y Maya S2007 fueron liberadas para siembras en condiciones de riego en “El Bajío”. Estas variedades mantienen resistencia a diferentes razas de roya amarilla que se encuentran en el país; sin embargo, se desconocen las bases genéticas de su resistencia. Para determinar la genética de la resistencia, estas variedades se cruzaron con el progenitor susceptible ‘Avocet- YrA’, y la determinación de similitud de genes se realizó mediante pruebas de alelismo. Las cuatro variedades y las familias F₃ de cada cruce se evaluaron durante verano de 2009 en el Campo Experimental ‘Valle de México’ (INIFAP-CEVAMEX) Chapingo, México, bajo una epifitía artificial creada con el aislamiento MEX96.11. Con los resultados de la evaluación de familias F₃ se determinó que la resistencia de planta adulta a roya amarilla en Cortázar S94, Bárcenas S2002 y Maya S2007 está condicionada por dos ó tres genes de efectos aditivos, mientras que en Urbina S2007 la resistencia está condicionada por tres o cuatro genes de la misma naturaleza. La ausencia de familias completamente susceptibles en las cruces entre las variedades resistentes indica la existencia de al menos un gen de resistencia en común.

Abstract

The varieties of bread wheat, Cortázar s94, Bárcenas S2002, Urbina S2007 y Maya S2007 were liberated for planting under irrigated conditions in “El Bajío”. These varieties maintain a resistance to different races of yellow rust that were found in the country; however, the genetic bases of resistance are unknown. To determine the genetics of the resistance, these varieties were crossed with the susceptible parent ‘Avocet- YrA’, and the determination of similitude of the genes was conducted through allele testing. The four varieties and the families F₃ of each cross was evaluated during the summer of 2009 in the Experimental Field ‘Valle de Mexico’, Chapingo, Mexico State, under an artificial epiphyte created with the isolation MEX96.11. With the results of the evaluation of the families F₃, it was determined that the resistance of the adult plant to yellow rust in Cortázar S94, Bárcenas S2002 y Maya S2007 is conditioned for two or three genes of additive effects, while in Urbina S2007, the resistance is conditioned for three or four genes of the same composition. The absence of complete acceptable families in the crosses between resistant varieties indicates the existence of at least one gene of resistance in common.

* Recibido: octubre de 2011
Aceptado: agosto de 2012

Palabras claves: genes aditivos, resistencia, resistencia de planta adulta “El Bajío”, variedades de trigo.

Key words: additive genes, resistance, adult plant resistance “El Bajío”, wheat varieties.

Introducción

En México las principales regiones trigueras se ubican en el noroeste y el Bajío, donde se obtiene 53% y 28% de la producción total nacional, respectivamente. En ambas regiones el trigo se produce durante el invierno bajo condiciones de riego (SAGARPA, 2007), es el cultivo de invierno de mayor importancia en este ciclo y la economía regional depende en gran parte de la producción, industrialización y comercialización de dicho cereal (SIAP, 2011). A pesar de que México es un importante productor de este cereal, existe la necesidad de importar trigos panificables debido a que hay un déficit en su producción, ya que el tipo de trigo que más se cultiva es el durum o cristalino, que se destina a la fabricación de pastas (CANIMOLT, 2010).

Las variedades de trigo harinero que ocupan mayor superficie sembrada en el Bajío son Bárcenas S2002 con 29%, Cortázar S94 con 22% y Saturno S86 con 11%. (Singh *et al.*, 2001) indican que la roya amarilla y de la hoja constantemente amenazan la producción de trigo de temporal y riego en el país, debido a la capacidad de vencer la resistencia específica de variedades nuevas, a través de la evolución hacia nuevas razas fisiológicas con nuevos genes de virulencia.

Entre los principales problemas que enfrenta el cultivo de trigo en el Bajío, destaca la roya amarilla, enfermedad que se ha presentado severamente en siembras comerciales de trigo harinero en el ciclo otoño-invierno (Solís *et al.*, 2007). Huerta y Singh (2000) indican que por mucho tiempo la raza 14E14 fue la más común en las zonas de el Bajío durante el invierno y se caracterizaba por su virulencia para los genes *Yr2*, 3, 6, 7, *Sk* (*Yr 27*) y *A*, entre otros. Durante el ciclo otoño-invierno 2004-2005 se observó una nueva raza identificada con el aislamiento número MEX03.37 que se caracterizó por infectar la espiga de diversas variedades que había sido resistentes incrementando los niveles de la enfermedad de las variedades recomendadas para riego como Salamanca S75, Pavón F76, Saturno S86 y Cortázar S94 entre otras, causando graves pérdidas en el rendimiento. Este aislamiento también se identificó en regiones como el Valle del Yaqui, Valle del Mayo, Costa de Hermosillo, Valle de Mexicali en Baja California Norte y en El Bajío, lo

Introduction

In Mexico, the principle wheat regions are located in the northeast and the Bajío, where 53% and 28% of the total national production occurs, respectively. In both regions, the wheat is produced during the winter under irrigated conditions (SAGARPA, 2007); it is the most important winter crop of the cycle and the regional economy depends, in great part, on the production, industrialization, and commercialization of said cereal (SIAP, 2011). Even though Mexico is an important producer of this cereal, there is still a need to import bread making wheat due to the fact that there is production deficit; the type of wheat that is most cultivated is either the durum or crystalline varieties, which is used to fabricate pastas (CANIMOLT, 2010).

The varieties of bread wheat that have the greatest area planted are the Bárcenas S2002 with 29%, Cortázar S94 with 22%, and Saturno S86 with 11% (Singh *et al.*, 2001), which indicates that the yellow rust of the leaf constantly threatens the production of both the rain fed and irrigated wheat in the country. This is due to the capacity to overcome the specific resistance of new varieties through the evolution towards new physiological races with new virulence genes.

Amongst the principle problems that face the wheat crop in El Bajío, yellow rust is emphasized. It is a diseases that has shown up severely in commercial sowing of bread wheat for the fall-winter cycle (Solís *et al.*, 2007). Huerta and Singh (2000) indicated that for quite some time, the race 14E14 was the most common in the Bajío area during the winter and was characterized by its virulence for the genes, *Yr2*, 3, 6, 7, *SK* (*Yr 27*), amongst others. During the fall-winter, 2004-2005 cycle, a new race could be observed with the isolation number MEX03 37, that was characterized by infecting the stalk with diverse varieties that were resistant, increasing the levels of the disease of the varieties recommended for irrigation, like Salamanca S75, Pavón F76, Saturno S86, and Cortázar S94, amongst others, and causing grave losses in yields.

The strategy that has most supported the control of this disease is the use of resistant varieties, constantly requiring sources of resistance. Upon recombining a susceptible variety for a resistant one, it is possible to determine the type of genetic action that is presented, since it can be seen if the genes act in a

que ocasiono la necesidad de aplicación de fungicidas para reducir las pérdidas (Rodríguez *et al.*, 2009). Ocasionando incremento en los costos de producción.

La estrategia que más ha apoyado el control de esta enfermedad es el uso de variedades resistentes, requiriéndose constantemente de fuentes de resistencia. Al recombinar una variedad susceptible por una resistente es posible determinar el tipo de acción génica que se presenta, ya que se puede observar si los genes actúan en forma dominante o en forma recesiva. Los trabajos de mejoramiento genético realizados en los últimos años tienen como objetivo generar genotipos con mayor potencial de rendimiento que las variedades comerciales de la región, resistentes a royas y de alta calidad industrial. Una alternativa para lograr mayor durabilidad de la resistencia es generar variedades que posean resistencia durable basada en genes que confieren resistencia de enroscamiento lento (*slow rusting*).

En el caso de la roya amarilla se deben combinar de 4 a 5 genes para reducir el progreso de la enfermedad a niveles tan bajos que sólo se puedan observar trazas al tiempo de madurez, bajo una presión alta de la enfermedad (Singh *et al.*, 2001). Las variedades de trigo para siembras de riego Cortázar S94, Bárcenas S2002 (Solís *et al.*, 2003), Urbina S2007 (Solís *et al.*, 2008 a) y Maya S2007 (Solís *et al.*, 2009) liberadas por el Programa de Mejoramiento Genético de Trigo (INIFAP-CEBAJ) mantienen diferentes niveles de resistencia a las razas de roya amarilla que se encuentran en el Bajío; sin embargo, se desconoce cómo opera la resistencia y los genes que están confiriéndola en estas variedades, para un uso más eficiente de las fuentes de resistencia que poseen los genotipos de trigo en México, es necesario conocer sus modos de herencia, similitud y cuantía de genes. Ante tal situación, se realizó la presente investigación con el objetivo de determinar la genética de la resistencia de planta adulta a roya amarilla de las cuatro variedades de trigo harinero antes indicadas.

Materiales y métodos

Material genético: se utilizaron las variedades de trigo Cortázar S94, Bárcenas S2002, Urbina S2007 y Maya S2007, que fueron liberadas para siembras de riego por el INIFAP-CEBAJ desde 1994 hasta 2007, estas variedades sobresalen por sus niveles de resistencia a roya amarilla. La cruce e historia de selección de dichas variedades se presentan en el Cuadro 1 y sus características se mencionan a continuación.

dominant or recessive form. The genetic breeding work that has been done in the last years has had the objective of generating genotypes with a yield potential greater than that of the other commercial varieties of the region, resistant to rust and of high industrial quality. An alternative to achieve a greater durability to the resistance is to generate varieties that possess a durable resistance based on genes that confer resistance of slow rusting.

In the case of yellow rust, four to five genes should be combined to reduce the advancement of the disease at levels so low that appearances can only be observed at the time of maturity, under high pressure of the disease (Singh *et al.*, 2001). The wheat varieties for irrigation planting Cortázar S94, Bárcenas S2002 (Solís *et al.*, 2003), Urbina S2007 (Solís *et al.*, 2008 a) y Maya S2007 (Solís *et al.*, 2009), liberated by the Genetic Wheat Breeding Program (INIFAP-CEBAJ), maintains different levels of resistance to the yellow-rust race that was found in Bajío; however, it is unknown how the resistance operates and the genes that are giving in these varieties. For the most efficient use of the sources of the resistance that possess the wheat genotypes in Mexico, it is necessary to know its modes of heredity, similarity, and quantity of genes. In light of such situation, the current study was performed with the objective of determining the genetics of the resistance of the adult plant to yellow rust in the four varieties of bread wheat that were formally mentioned.

Materials and methods

Genetic material: the wheat varieties Cortázar S94, Bárcenas S2002, Urbina S2007 y Maya S2007, were used. They were liberated from the irrigated fields by INIFAP-CEBAJ from 1994 until 2007. These varieties were pointed out for their levels of resistance to yellow rust. The cross and history of selection of said varieties are presented in table 1 and their characteristics are mentioned below.

Cortázar S94: was obtained by hybridization and genealogical selection in the Institute of Agricultural, Forestry, and Livestock Research (INIFAP) from a simple cross done in 1994. It is considered resistant to yellow rust (*Puccinia striiformis*) and to leaf rust (*Puccinia triticina* Ericks.) (Solís *et al.*, 2000).

Urbina S2007: was obtained by hybridization and selection through massive F₃ cross methods. In the female parent, four re-combined genotypes in three crosses were involved, and

Cuadro 1. Genealogía y pedigrí de las cinco variedades de trigo utilizadas en el presente estudio.
Table 1. Genealogy and pedigree of the five varieties of studied wheat.

Variedad	Genealogía /Pedigrí
Avocet- <i>YrA</i>	WW119/WW151//EGRET <i>YrA</i> -30Y
Cortázar S94	INIA”S”/20350/4/MNG/8156//JAR/3/ON/20350/5/TOB/CNO//SYG/SX/3/CNO//INIA/6/ SLM/7/BEZ/NAD//KZM/8/CNO79/9/SON64/KLRE//BB”S”/3/BB”S”/IN#2//20350/4/2F2. TR810352-4R-1R-1R-0R
Bárcenas S2002	INIA”S”20350/4/MNG/8/56//JAR/3/ON/20350/5/YDING/6/SLM/7/2F1/8/MTE. TR871405-7R-2R-0R
Maya S2007	845.63.6/SLM//CUBA/3/CALIOPA-E-B/4/LIMPIA. TR970215-6R-0C-0R-0C-0R-2R-0R
Urbina S2007	CNO79/PRL//CHIL/3/CUBA/4/CASILDA/CENTELLA TR00132-10R-0R-0R-0C-3R-0R

Cortázar S94: se obtuvo por hibridación y selección genealógica en el Instituto de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), de una crusa simple realizada en 1994. Se considera resistente a roya amarilla (*Puccinia striiformis*) y a roya de la hoja (*Puccinia triticina* Ericks.) (Solís *et al.*, 2000).

Urbina S2007: se logró por hibridación y selección a través del método de cruzas masivas F₃. En el progenitor femenino intervinieron cuatro genotipos recombinados en tres cruzamientos, y el progenitor masculino fue la crusa Casilda/Centella. Se considera resistente a roya amarilla (*Puccinia striiformis*) y a roya de la hoja (*Puccinia triticina* Ericks.) (Solís *et al.*, 2008 b).

Maya S2007: se produjo por hibridación y selección genealógica en el INIFAP, de una crusa simple realizada en 1997. Se considera resistente a roya amarilla (*Puccinia striiformis*) y a roya de la hoja (*Puccinia triticina* Ericks.) (Solís *et al.*, 2009).

Bárcenas S2002: se recabó por hibridación y selección genealógica en el INIFAP. Se considera resistente a roya amarilla (*Puccinia striiformis*) y a roya de la hoja (*Puccinia triticina* Ericks.) (Solís *et al.*, 2003).

Se utilizó el genotipo Avocet-*YrA* que es susceptible en plántula y planta adulta a todas las razas fisiológicas de roya amarilla que existen en México, y que alcanza una severidad de 100%.

in the male parent, it was the cross of Casilda/Centella. It is considered resistant to yellow rust (*Puccinia striiformis*) and to leaf rust (*Puccinia triticina* Ericks.) (Solís *et al.*, 2008 b).

Maya S2007: was produced by hybridization and genealogically selected in INIFAP from a simple cross that was done in 1997. It is considered resistant to yellow rust (*Puccinia striiformis*) and to leaf rust (*Puccinia triticina* Ericks.) (Solís *et al.*, 2009).

Bárcenas S2002: was collected by hybridization and genealogical selection in INIFAP. It is considered resistant to yellow rust and (*Puccinia striiformis*) y leaf rust (*Puccinia triticina* Ericks.) (Solís *et al.*, 2003).

The genotype Avocet-*YrA* was used. It is susceptible in seedlings and adult plants to all the physiological races of yellow rust that exist in Mexico, and it reaches a severity of 100%. The formula pathogen race of a-virulence/virulence of isolation MEX 96.11 is: *Yr1*, 4, 5, 8, 10, 15, 17, 24, 26, *Sp/Yr2*, 3, 6, 7, 9, 27 based on the differential lines derived from Avocet (Singh *et al.*, 2000).

The obtaining of the crosses was done during the fall-winter cycle 2007-2008 in the greenhouses of CEVAMEX-INIFAP, located in Chapingo, State of Mexico, latitude 19° 53' north 19' and longitude 99° 53' west at an altitude of 2 250 msnm, with an average annual precipitation of 640 mm and an annual average temperature of 15 °C (García, 1981). Ten

Raza del patógeno la fórmula de avirulencia/virulencia del aislamiento MEX96.11, es: *Yr1*, 4, 5, 8, 10, 15, 17, 24, 26, *Sp/Yr2*, 3, 6, 7, 9, 27, basado en las líneas diferenciales derivadas de Avocet (Singh *et al.*, 2000).

Obtención de progenies las cruas se hicieron durante el ciclo otoño-invierno 2007-2008 en los invernaderos del Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX), perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Chapingo, México, 19° 53' latitud norte 99° 53' longitud oeste, a una altitud de 2 250 msnm, con promedio anual de precipitación de 640 mm y 15 °C de temperatura media anual (García, 1981). Se hicieron 10 cruas como un dialelo parcial sin las cruas reciprocas, de las cuales cuatro fueron, susceptible x resistente y las seis restantes fueron cruas resistente x resistente Cuadro 2.

Cuadro 2. Cruas para determinar la genética de la resistencia en cuatro variedades de trigo harinero sembradas en el INIFAP-CEVAMEX durante el verano de 2009.

Table 2. Crosses to determine the genetic resistance in four varieties of bread wheat planted in CEVAMEX-INIFAP, 2009.

Resistente x Susceptible	Resistente x Resistente
1) AOC- <i>YrA</i> /Cortázar S94	5) Cortázar S94 x Urbina S2007
2) AOC- <i>YrA</i> x Urbina S2007	6) Cortázar S94 x Maya S2007
3) AOC- <i>YrA</i> x Maya S2007	7) Cortázar S94 x Bárcenas S2002
4) AOC- <i>YrA</i> x Bárcenas S2002	8) Urbina S2007 x Maya S2007
	9) Urbina S2007 x Bárcenas S2002
	10) Maya S2007 x Bárcenas S2002

Obtención de F_1 , F_2 y Familias F_3 de las cruas resistente por susceptible la generación F_1 de cada una de las cruas se sembró en campo en forma mateada durante el ciclo primavera-verano 2008 en el CEVAMEX. De cada crua se cosecharon de cuatro a cinco plantas al azar, tres de las cuales dieron origen a la generación F_2 y las semillas restantes se guardaron como reserva. Las progenies de cada planta F_1 fueron sembradas individualmente en forma graneada en el ciclo otoño-invierno 2008-2009 en el CEVAMEX. Para la obtención de las familias

crosses were made as a partial diallele without reciprocal crosses, of which four were susceptible x resistant and the six others were crosses resistant x resistant (Table 2).

In order to get F_1 , F_2 and Families F_3 of the resistant crosses for susceptibility of the generation F_1 , each one of the crosses was planted in the field in matted form during the spring-summer cycle 2008 in the CEVAMEX. Of each cross, four to five plants were harvested randomly, three of which gave origin to the F_2 generation, and the resistant seeds were saved as reserve. The progenies of each F_1 plant were planted individually in grain form in the fall-winter 2008-2009 cycle in CEVAMEX. In order to obtain the F_3 families the F_2 population of the three plants of each cross was visually inspected and as there was no difference in its progenies, 40 individual plants of each one were selected to obtain the 120 F_3 families.

To obtain the F_1 , F_2 and F_3 families, the resistant crosses for the F_1 generation resistances, each one of the crosses was planted in field in a matted form during the spring-summer 2008 cycle in CEVAMEX. Of each cross, two to four plants were planted randomly, of which gave origin to the F_2 generation, while the remaining seeds were saved as reserve. The progenies of each plant F_1 were individually planted in grain form in the 2008-2009 fall-winter cycle in CEVAMEX. To obtain the seeds of the F_3 family, the F_2 population of the plants of each cross was visually inspected and as there was no difference between their progenies, 50 individual plants of each one were planted in order to obtain the 100 F_3 families for a cross.

In order to evaluate the F_3 families of the cross susceptible for resistance, the progenies and the different number of families, which varied from 118 to 120 depending on the cross, were planted. The number was 119 families in the cross AOC-*YrA* x Cortázar S94, in the cross AOC-*YrA* x Maya S2007, and 120 in the cross AOC-*YrA* x Urbina S2007 and AOC-*YrA* x Bárcenas S2002. These were planted in double beds of 1 m x 0.80 m of separation in the experimental field CEVAMEX-INIFAP. Around the experiment and between the paths, a seed with the genotype susceptible to Morocco ⁺*Lr19* was planted; this acted as both a source of inoculation and dispersion of yellow rust.

For the evaluation of the F_3 families of the resistant x resistant crosses, the progenies and 98 F_3 families of each cross was planted. This was done with the objective of completing an allele test as indicated in Table 2.

F₃, las poblaciones F₂ de las tres plantas de cada cruza se inspeccionaron visualmente, y como no hubo discrepancia entre sus progenies, se seleccionaron 40 plantas individuales de cada una, para la obtención de 120 familias F₃.

Obtención de F₁, F₂ y familias F₃ de las cruzas resistente por resistente la generación F₁ de cada una de las cruzas se sembró en campo en forma mateada durante el ciclo primavera-verano 2008 en el CEVAMEX. De cada cruza se cosecharon de dos a cuatro plantas al azar, dos de las cuales dieron origen a la generación F₂ y las semillas restantes se guardaron como reserva. Las progenies de cada planta F₁ fueron sembradas individualmente en forma graneada en el ciclo otoño-invierno 2008-2009 en el CEVAMEX. Para la obtención de semilla de las familias F₃, las poblaciones F₂ de las dos plantas de cada cruza se inspeccionaron visualmente, y como no hubo discrepancia entre sus progenies, se cosecharon 50 plantas individuales de cada una, para la obtención de 100 familias F₃ por cruza.

Evaluación de familias F₃ de las cruzas susceptible por resistente se sembraron los progenitores y los diferentes números de familias los cuales variaron de 118 a 120 dependiendo de la cruza así, el número fue de 119 familias en la cruza AOC-YrA x Cortázar S94, 118 en la cruza AOC-YrA x Maya S2007 y 120 en las cruzas AOC-YrA x Urbina S2007 y AOC-YrA x Bárcenas S2002, las cuales se sembraron en surcos dobles de 1 m x 0.80 m de separación, en el campo experimental del CEVAMEX-INIFAP. Alrededor del experimento y entre las calles se sembró semilla del genotipo susceptible Morocco +Lr19, el cual actuó como fuente de inoculó de la roya amarilla y dispersante del mismo.

Evaluación de familias F₃ de las cruzas resistente por resistente se sembraron los progenitores y 98 familias F₃ de cada cruza, esto con el fin de realizar la prueba de alelismo como se indica en el cuadro 2.

inoculación de familias F₃ se estableció una epifitía artificial 22 días después de la siembra, lo que se logró mediante tres inoculaciones de esporas frescas de roya amarilla que fueron suspendidas en aceite mineral (Sotrol 170®), (la primera el 17 de julio, con el fin de asegurar que el hongo se estableciera a tiempo, se hicieron dos inoculaciones más el 22 y 27 de julio de 2009) la inoculación se realizó utilizando atomizadores manuales, asperjando directamente la superficie de las hojas de las plantas, en los bordos sembrados en los surcos laterales y calles del experimento ocupadas con el material susceptible Morocco + Lr19.

An artificial epiphyte was established for the Inoculation of F₃ families 22 days after planting, which was achieved by three inoculation of fresh spores of yellow rust that was suspended in mineral oil (Sotrol 170®), (the first was July 17 with the idea of ensuring that the fungus would establish itself on time. Two more inoculations were done on July 22 and July 27, 2009). The inoculation was carried out utilizing manual spray, aspirating directly the surface of the plant leaves, on the border that was planted in the lateral beds and in the experimental paths that were home to the material susceptible to Morocco + Lr19.

Genetic analysis of the observed and expected frequencies were compared by the Ji-squared (X)² test. The value of the tables and the meaning was determined in accordance with the Ji-squared (X)² that obtained the family proportions of each cross. For the value of the tables, the n-1 degrees of freedom were used, where n is the number of the F₃ family classification groups (Infante y Zárate de Lara, 1990).

Results and discussion

The development of the disease and the note-taking of the humidity and temperature conditions were optimum for the development of the disease. Before the flowering, the first signs of yellow rust were observed in such a way that the first behavior evaluation of the F₃ families and progenies involved occurred on August 29, when the susceptible progeny reached infection levels between 70% and 80% -in accordance with the modified Cobb scale (Peterson *et al.*, 1949).

In the first study, the families of each cross were classified in the following four groups: group 1= homozygous families as resistant or more (transgressive) as the resistant progenitor. Group 2= homozygous families as susceptible or more than the susceptible progenitor- in this case Avocet-YrA; group 3= heterozygous families (segregating) with the presence of plants as resistant as the as the resistant progenitor and plants with intermediate levels of infection or less resistant than the resistant progenitor and with the absence of plants completely susceptible; and group 4= heterozygous families with plants as resistant or more than the resistant progenitor, intermediate plants and plants as susceptible or more than the susceptible progenitor.

Análisis genético las frecuencias observadas y esperadas se compararon mediante la prueba de Ji-cuadrada (X^2) el valor de tablas y la significancia fue determinada de acuerdo a la Ji-cuadrada (X^2) que obtuvieron las proporciones de las familias de cada cruza. Para el valor de tablas se usaron $n-1$ grados de libertad, donde n es el número de grupos de clasificación de familias F_3 (Infante y Zárate de Lara, 1990).

Resultados y discusión

Desarrollo de la enfermedad y toma de notas las condiciones de humedad y temperatura fueron óptimos para el desarrollo de la enfermedad, y antes de la floración se observaron los primeros signos de roya amarilla de tal forma que la primera evaluación del comportamiento de las familias F_3 y de los progenitores involucrados en cada cruza se realizó en agosto 29, cuando el progenitor susceptible alcanzó niveles de infección entre 70 y 80% de acuerdo con la escala modificada de Cobb (Peterson *et al.*, 1949).

En esta primera lectura se clasificaron las familias de cada cruza en cuatro grupos como sigue: grupo 1= familias homocigóticas tan resistentes o más (transgresivas) como el progenitor resistente; grupo 2= familias homocigóticas tan susceptibles o más que el progenitor susceptible; en este caso Avocet-*YrA*; grupo 3= familias heterocigóticas (segregando) con presencia de plantas tan resistentes como el progenitor resistente y plantas con niveles de infección intermedia o menos resistentes que el progenitor resistente y ausencia de plantas completamente susceptibles; y grupo 4= familias heterocigóticas con plantas tan resistentes o más que el progenitor resistente, plantas intermedias y plantas tan susceptibles o más que el progenitor susceptible.

Una segunda clasificación de las familias en campo permitió corroborar que las familias clasificadas en el grupo 1 permanecieron como tal o se reclasificaron en el grupo 3 si los niveles de infección fueron 5% mayor que el progenitor resistente.

Frecuencias esperadas de los diferentes grupos en las cruzas susceptible x resistente las frecuencias esperadas de las familias F_3 de los cuatro grupos de clasificación se ilustran en el Cuadro 3, bajo el supuesto de que la resistencia está condicionada por 2, 3, 4, y 5 genes menores de efectos aditivos; el número de genes implicados en la resistencia se determinó con base en las frecuencias observadas de

A second classification of the families in the field allowed us to corroborate that the families classified in group 1 remained as is or where reclassified in group 3 if the infection levels were 5% greater than the resistant progenitor.

Expected frequencies of the different groups in the susceptible x resistant crosses, the expected frequencies of the F_3 families of the four groups of classification illustrates in table 3, below the expectation that the resistance is conditioned for 2, 3, 4, and 5 genes under additive effects. The number of the genes implicated in the resistance was determined based on the observed frequencies of the families classified in group 2 and compared with the expected frequencies in Table 3. For example, if the resistance was controlled for two genes, the expected frequencies of the homozygous families were susceptible at 6.25% (1/16); if it was conditioned for three genes, the proportion would be 1.6% (1/64), and if it was controlled for four genes, the proportion would be equivalent to 0.4% (1/256).

Cuadro 3. Frecuencias relativas esperadas de familias F_3 de las cruzas susceptible por resistente en los cuatro grupos de clasificación cuando la resistencia está controlada por genes menores de efectos aditivos.

Table 3. Relatively expected frequencies of the F_3 families of the susceptible crosses for resistance in the four groups of classification when the resistance is controlled for genes under additive effects.

Núm. de genes	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
2	6.3	6.3	37.5	50.0
3	1.6	1.6	56.3	40.6
4	0.4	0.4	68.0	31.3
5	0.1	0.1	76.2	23.6

Grupo 1= familias homocigóticas resistentes; grupo 2= familias homocigóticas susceptibles; grupo 3= familias heterocigóticas con plantas resistentes y plantas intermedias; grupo 4= familias heterocigóticas con plantas resistentes, plantas intermedias y susceptibles.

The distribution, relative frequencies of the F_3 families, the number of genes that conditioned the resistance and the Ji-squared (X^2) of the four susceptible x resistant crosses, is shown in table 4.

The criterion to determine the number of genes is based on the number of susceptible homozygous families, which are easier to identify in field under the expectation that the pathogen virulence is recessive that the resistance in plants is dominant (Roelfs and Groth, 1988). The frequency of

las familias clasificadas en el grupo 2 y comparadas con las frecuencias esperadas del Cuadro 3. Por ejemplo, si la resistencia estuviera controlada por dos genes las frecuencias esperadas de familias homocigóticas susceptibles de 6.25% (1/16); si fuera condicionada por tres genes, la proporción sería 1.6% (1/64), y si estuviera controlada por cuatro genes, la proporción sería equivalente a 0.4% (1/256).

La distribución, frecuencias relativas de las familias F_3 , el número de genes que condicionan la resistencia y la prueba de Ji- cuadrada (X^2) de las cuatro cruzas susceptible x resistente, se muestran en el Cuadro 4.

homozygous F_3 families similar to the resistant or susceptible progenitor had low frequency, which indicates that the resistance was complex and conditioned for more than one gene and not based on genes with great effects.

Based on the expected and observed frequencies (Table 4) and by the X^2 test, it was determined that two or three is the minimum number of genes of additive effect that control the resistance in the varieties Cortázar S94, Bárcenas S2007 and Maya S2007. As in the Urbina S2007 variety, the frequency of the families was intermediately increased, group 3 with respect to the susceptible families, group 4, probably in this

Cuadro 4. Distribución y frecuencias observadas y esperadas de familias F_3 en los cuatro grupos de clasificación de las cruzas entre el progenitor susceptible (AOC-*YrA*) y los progenitores resistentes (Cortázar S94, Urbina S2007, Maya S2007 y Bárcenas S2002), en Chapingo, Texcoco, México, 2009.

Table 4. Distribution and observed/expected frequencies of F_3 families. In the crosses between the susceptible and resistant progenitor (AOC-*YrA*). Chapingo, Texcoco, México, 2009.

Cruza	T	Grupos								Núm de genes	X^2
		1	2	3	4	5	6	7	8		
AOC- <i>YrA</i> /Cortázar S94	119	4.2	6.3	6.7	6.3	44.5	37.5	44.5	50	2	2.6
AOC $\overline{YrA}$ /Urbina S2007	120	0.8	1.6	4.2	1.6	50.0	56.3	45	40.6	3	5.8
AOC- <i>YrA</i> /Maya 2007	118	1.7	6.3	5.1	6.3	46.6	37.5	46.6	50	2	6
AOC $\overline{YrA}$ /BárcenasS2002	120	2.5	6.3	10.1	6.3	29.4	37.5	58	50	2	7.6

T= total de familias evaluadas; RO= resistente observado; RE= resistente esperado; SegO= segregante observado; Su O= susceptible observado; SuE= susceptible esperado; 3 grados de libertad; $\alpha = 0.05$; $X^2 = 7.815$.

El criterio para determinar el número de genes se basó en el número de familias homocigóticas susceptibles, las cuales son más fáciles de identificar en campo, bajo el supuesto de que la virulencia del patógeno es recesiva y que la resistencia en planta es dominante (Roelfs y Groth, 1988). La frecuencia de familias F_3 homocigótica similares al progenitor resistente o susceptibles fueron en frecuencia muy baja lo que indica que la resistencia fue compleja, condicionada por más de un gen y no se basa en genes de efectos mayores.

Con base en las frecuencias esperadas y observadas (Cuadro 4), y mediante la prueba de X^2 , se determinó que de dos a tres es el número mínimo de genes de efecto aditivo que controlan la resistencia en las variedades Cortázar S94, Bárcenas S2007 y Maya S2007. Como en la variedad Urbina S2007 se incrementó la frecuencia de familias de tipo intermedio, grupo 3 con respecto a las familias susceptibles,

case, the number of genes will be three or four. However, the frequency of the susceptible families was much greater than the resistant families, as you can see in Table 4.

The former suggests the possibility of mechanical mixes and the presence of voluntary plants that the F_2 is planted to the F_3 families. The consequence is that the number of genes that are gaining resistance to yellow rust in the liberated varieties for the planting in Bajío is underestimated. However, the number of genes that is determined by frequency of families as resistant as the resistant progenitor; this could infer that the resistance to yellow rust is determined by 2-3 genes in Cortázar S94, Maya S2007, and Bárcenas S2007 and 3-4 in Urbina S2007.

In the Bárcenas S2002 variety, the presence of necrosis on the leaf tip (Ltn= leaf tip necrosis) was observed. A morphological character manifested when the gene resistant

grupo 4, probablemente en este caso el número de genes sea de tres a cuatro. Sin embargo; la frecuencia de familias susceptibles fue mucho mayor que las familias resistentes, como se puede observar en el Cuadro 4. Lo anterior sugiere la posibilidad de mezclas mecánicas y presencia de plantas voluntarias cuando se sembró la F₂ para en la obtención de familias F₃. Esto trae como consecuencia que el número de genes que están confiriendo la resistencia a la roya amarilla en las variedades liberadas para su siembra en el Bajío sea subestimado. Sin embargo, si el número de genes se determina por la frecuencia de familias tan resistentes como el progenitor resistente; se podría inferir que la resistencia a la roya amarilla está determinada por 2-3 genes en Cortázar S94, Maya S2007 y Bárcenas S2007, y de 3-4 en Urbina S2007.

En la variedad Bárcenas S2002, se observó la presencia de necrosis en la punta de la hoja (*Ltn*= Leaf tip necrosis), carácter morfológico manifestado cuando está presente el gen de resistencia a roya de la hoja *Lr34*, y también ligado al gen *Lr46*. El gen *Lr34* es el mismo que condiciona resistencia a roya amarilla y se denomina como *Yr18* (Kratinger *et al.*, 2009); este gen ayuda a reducir la severidad de la enfermedad, pero individualmente es insuficiente por lo que los niveles de desarrollo de la enfermedad se llegan a incrementar hasta 70%.

El gen *Lr46* también está asociado a la quemadura de la punta de la hoja (*Ltn*). Estudios realizados en CIMMYT han mostrado que el gen *Lr46* está fuertemente ligado al gen *Yr29* que confiere resistencia de enroscamiento lento a la roya amarilla, el cual tiene efecto similar al del *Yr18*. Otro gen de efectos menores es *Yr30* y se considera de naturaleza durable con efecto aditivo al interactuar con otros genes de efectos aditivos.

Villaseñor *et al.* (2009) encontró resultados similares en variedades de trigo para temporal donde se muestra que los altos niveles de resistencia, están siendo conferidos por la presencia de tres y cuatro genes de efecto aditivo. Singh y Rajaram (1994) determinaron que la resistencia de *Puccinia striiformis* está controlada por uno a tres genes aditivos. En este estudio se observó que un mayor número de genes confirió mayor resistencia en los progenitores utilizados, los cuales tuvieron bajos niveles de infección.

Los resultados de las familias F₃ indican que la variedad Urbina S2007 posee al menos un número mayor de genes que las otras tres variedades, no obstante es necesario analizar si las cuatro variedades poseen genes diferentes.

to leaf rust is present *Lr34*, and also linked to the gene *Lr46*. The gene *Lr34* is the same that conditions resistance to yellow rust and is dominated as *Yr18* (Kratinger *et al.*, 2009); this gene helps reduce the severity of the disease, but individually it is insufficient for what the levels of disease development tend to increase- up to 70%.

The gene *Lr46* is also associated with the burning of the point of the leaf (*Ltn*). Studies done in CIMMYT have shown that the gene *Lr46* is strongly linked to the gene *Yr29* that this confers resistance of slow rusting to yellow rust, which has a similar effect to *Yr18*. Another gene of less effect is *Yr30* and it is considered naturally durable with an additive effect once it interacts with other genes of additive effects.

Villaseñor *et al.* (2009) found similar results in rain-fed wheat varieties where high levels of resistance are shown; these are being conferred by the presence of three and four genes with additive effect. Singh and Rajaram (1994) determined that the resistance of *Puccinia striiformis* is controlled by one to three gene additives. In this study it was observed that a greater number of genes conferred greater resistance in the utilized progenitors, which had low levels of infection.

The results of the F₃ families indicate the Urbina S2007 variety possesses at least one number greater of genes than the other three varieties, nevertheless it is necessary to analyze if the four varieties possess different genes.

In wheat and other cereals, the similarity of resistance genes, which can be observed upon evaluating the resultant progenies of the crosses between resistant progenitors, is made evident when there is no segregation observed in said progenies of susceptible homozygous families (Mariscal *et al.*, 2010).

In none of the families of the resistant x resistant cross were susceptible families observed (group 2). Neither were there observed segregating families of group 4, which suggests that the genes that condition resistance in these varieties are the same; the other possibility is that at least one gene of the additive effects is in common with the four varieties.

Adhikari *et al.* (1999), upon making genetic studies between genotypes of oatmeal with the resistant progenitor <omega> with 15 other resistant lines, it was observed that the families of these crosses were homozygous resistant, indicating that

En el Cuadro 5 se presenta la distribución de familias F₃, de las cruzas entre los progenitores resistentes, sembrados en el CEVAMEX durante el verano, 2009.

the lack of susceptible segregates was due to the fact that the progenitors had the same genes or these were different, probably they were linked or allelic genes.

Cuadro 5. Distribución de familias F₃, en los cuatro grupos de clasificación de las cruzas entre los progenitores resistentes (Cortázar S94, Urbina S2007, Maya S2007 y Bárcenas S2002), en el CEVAMEX durante el verano de 2009.

Table 5. Distribution of the F₃ families in four classification groups of the crosses between the resistant progenitors (Cortázar S94, Urbina S2007, Maya S2007 y Bárcenas S2002), in CEVAMEX, 2009.

Cruza	Número de familias por grupo				Total de familias
	1	2	3	4	
Cortázar S94 x Urbina S2007	88	-	10	-	98
Cortázar S94 x Maya S2007	93	-	5	-	98
Cortázar S94 x Bárcenas S2002	92	-	6	-	98
Urbina S2007 x Maya S2007	94	-	4	-	98
Urbina S2007 x Bárcenas S2007	92	-	6	-	98
Maya S2007 x Bárcenas S2002	98	-	-	-	98

En trigo y en otros cereales, la similitud de genes de resistencia, que se puede observar al evaluar las progenies resultantes de las cruzas entre progenitores resistentes, se hace evidente cuando no se observa segregación en dichas progenies de familias homocigóticas susceptibles (Mariscal *et al.*, 2010).

McKenzie *et al.* (1965), concluded that the cross between the progenitors ‘Rosen’s Mutant*’C.I.6829’ possess the same gene ‘H’, that confirms resistance to the 6AF race of stem rust upon observing that the 33 F₃ families were resistant.

En ninguna de las familias de las cruzas resistente por resistente se observaron familias susceptibles (grupo 2), tampoco se observaron familias segregantes del grupo 4, lo que sugiere que los genes que condicionan la resistencia en estas variedades son los mismos; la otra posibilidad es que por lo menos un gen de efectos aditivos sea común en las cuatro variedades.

The presence of the tip burning on the leaf could indicate that this gene is possibly Yr18; that once it was advanced in Salamanca S75 and that it is as a progenitor in all of the resistant varieties (Table 1). However, the molecular analysis indicated that the Salamanca S75 variety does not possess the YR18 gene, which confirms resistance from slow rustin to yellow rust and is linked to the gene Lr34, located on the 7D genome, Kolmer *et al.* (2008).

Adhikari *et al.* (1999) al hacer estudios genéticos entre genotipos de avena con el progenitor resistente “omega” con otras 15 líneas resistentes, observaron que todas las familias de estas cruzas fueron resistentes homocigóticas, indicando que la falta de segregantes susceptibles se debió a que los progenitores tenían los mismos genes o éstos eran diferentes, probablemente eran genes ligados o alélicos.

The other possibility is that it is the gene Lr46 which is linked to the gene Yr29 William *et al.* (2003), and also linked to the tip burning of the leaf Rosewarne *et al.* (2006). Molecular tests indicate the presence of Yr29 in the four varieties (Huerta-Espino non-published data) being Salamanca S75 the common progenitor in the four varieties and where the presence of the Yr29 gene was determined (Kolmer *et al.*, 2008).

McKenzie *et al.* (1965), concluyeron que la cruce entre los progenitores 'Rosen's Mutant' C.I.6829' poseen el mismo gen 'H', que confiere resistencia a la raza 6AF de roya del tallo esto a observar que las 33 familias F₃ fueron resistentes.

La presencia de la quemadura de la punta de la hoja podría indicar que este gen posiblemente sea *Yr18*; que alguna vez se postuló en Salamanca S75 y que está como progenitor en todas estas variedades resistentes (Cuadro 1); sin embargo, el análisis molecular indica que la variedad Salamanca S75 no posee el gen *Yr18*, el cual confiere resistencia de enroscamiento lento a la roya amarilla y que está ligado al gen *Lr34* localizado en el genoma 7D, Kolmer *et al.* (2008).

La otra posibilidad es que sea el gen *Lr46*, el cual está ligado al gen *Yr29* William *et al.* (2003); y también ligado a la quemadura de la punta de la hoja Rosewarne *et al.* (2006). Pruebas moleculares indican la presencia de *Yr29* en las cuatro variedades (Huerta-Espino datos sin publicar), siendo Salamanca S75 el progenitor común en las cuatro variedades y en donde se ha determinado la presencia del gen *Yr29* Kolmer *et al.* (2008).

En variedades como Pavón F76 y Huites F95 que no poseen el gen *Yr18*, también es posible reducir los niveles de infección mediante otros genes que igualmente inducen este tipo de resistencia, como *Yr29* y *Yr3* Singh *et al.* (2001 y 2003).

Por otro lado, se ha determinado que el gen *Yr18* está presente en Urbina S2007 y Cortázar S94, pero no en Bárcenas S2002 y Maya S2007, mientras que *Yr30* está presente en Cortázar S94, Bárcenas S2002 y Maya S2007 pero no en Urbina S2007.

Singh y Dubin (1997) y Singh *et al.* (2000) encontraron que las combinaciones de *Yr18* más o tres genes de la misma naturaleza inducen niveles aceptables de resistencia, y que a mayor número de genes de efecto aditivo la resistencia es más estable en cualquier ambiente que presente roya amarilla.

Un gen adicional localizado en el cromosoma 7B, también está presente en Urbina S2007, pero no en las otras variedades. Lo anterior explica la ausencia de familias susceptibles y confirma el efecto aditivo entre los genes antes mencionados y en particular la del gen *Yr29*. El mayor nivel de resistencia y número de genes en Urbina S2007 indica la presencia de un gen adicional y diferente a los antes mencionados.

In the varieties like Pavón F76 and Huites F95 that don't possess the gene *Yr18*, it is possible to reduce the level of infection by other genes that similarly induce this type of resistance like *Yr9* and *Yr3* Singh *et al.* (2001 and 2003).

On the other hand, it was determined that the gene *Yr18* is present in Urbina S2007 and Cortázar S94 but not in Bárcenas S2002 or Maya S2007, while *Yr30* is present in Cortázar S94, Bárcenas S2002 and Maya S2007 but not in Urbina S2007.

Singh and Dubin (1997) and Singh *et al.* (2000) found that the combinations of *Yr18* more than three genes of the same kind induced acceptable levels of resistance, and that a greater number of genes of the resistant additive effect is more stable in any environment where yellow rust is present.

An additional gene located on chromosome 7B, is also present in Urbina S2007, but not in other varieties. The former explains the absence of susceptible families and confirms the additive effect between the aforementioned genes and in particular, the gene *Yr29*. The greater level of resistance and number of genes in Urbina S2007 indicated the presence of an additional gene- different than the ones previously mentioned.

Conclusions

Based on the results of the F₃ families of the resistant x susceptible crosses, it is concluded that the resistance of the adult plant to yellow rust in the Urbina S2007 variety is determined by at least three genes of additive effect. This variety possesses a greater number of genes, or at least a different gene that confers a greater level of resistance. In the varieties S94, Bárcenas S2007 y Maya S2007, between two and three genes were identified, confirming the resistance.

In the crosses of the resistant x resistant families, no susceptible families were observed-this indicates that these varieties have at least one gene in common.



Conclusiones

Con base en los resultados de las familias F₃ de las cruza resistente x susceptibles, se concluye que la resistencia de planta adulta a roya amarilla en la variedad Urbina S2007 está determinada por al menos tres genes de efectos aditivos, esta variedad posee mayor número de genes o al menos un gen diferente que le confiere mayor nivel de resistencia. En las variedades Cortázar S94, Bárcenas S2007 y Maya S2007 se identificaron entre dos y tres genes confiriendo la resistencia.

En las cruza de familias resistentes x resistentes no se observaron familias susceptibles lo que indica que estas variedades tienen al menos un gen en común.

Literatura citada

- Adhikari, K. N.; McIntosh, R. A. and Oates, J. D. 1999. Inheritance of the stem rust resistance phenotype. Pg-a in oats. *Euphytica*. 105:143-154.
- García, E. 1981. Modificaciones del sistema de clasificación climática de Köppen (adaptada a condiciones de la república mexicana). 3ª ed. México, D. F. 86 p.
- Infante, G. S. y Zárate de Lara, G. P. 1990. Métodos estadísticos: un enfoque interdisciplinario. 2ª ed. Trillas. México, D. F. 643 p.
- Kolmer, J. A.; Singh, R. P.; Garvin, D.F.; Viccars, L.; William, H. M.; Huerta, E. J.; Ogonnaya, F. C.; Raman, H.; Orford, S.; Bariana, H. S. and Lagudah, E. S. 2008. Analysis of the *Lr34/Yr18* rust resistance region in wheat germplasm. *Crop Sci*. 48:1841-1852.
- Krattinger, S. G.; Lagudah, E. S.; Spielmeier, W.; Singh, R. P.; Huerta, E. J. McFadden, H.; Bossolini, E.; Selter, L. L. and Keller, B. 2009. A putative ABC transporter confers durable resistance to multiple fungal pathogens in wheat. *Science* 323:1360-1363.
- Mariscal, A. L. A.; Huerta E. J.; Villaseñor, M. H. E.; Leyva, M. S. G.; Sandoval, I. S. y Benítez, R. I. 2010. Prueba de similitud de genes con resistencia a roya del tallo en genotipos de avena. *Rev. Mex. Cien. Agríc.* 1(4):541-554.
- McKenzie, R. I. H.; Fleischmann, G. and Green, G. J. 1965. A close association of stem and crown rust resistance in 'Ukraine' and 'Rosen's Mutant' oats. *Crop Sci*. 5:551-552.
- Reporte Estadístico de la Cadena Agroindustrial 2010. CANIMOLT. Medio de comunicación anual. Ediciones CANIMOLT. 25 p.
- Roelfs, A. P and Groth, J. V. 1988. *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* black stem rust of *Triticum* spp. *Genet. Plant Pathol.* 6:345-361.
- Rodríguez, G. M. F.; Huerta, E. J. Villaseñor, M. H. E. y Solís, M. E. 2009. Virulencia de la roya amarilla del trigo en las principales zonas productoras de riego en México. *Agríc. Téc. Méx.* 35(2):179-187.
- Rosewarne, G. M.; Singh, R. P.; Huerta, E. J.; William, H. M.; Bouchet, S.; Cloutier, H.; McFadden and Lagudah, E. S. 2006. Leaf tip necrosis, molecular Markers and 1-proteasome subunits associated with the slow rusting resistance genes *Lr46/Yr29*. *Theor Appl. Genet.* 112:500-508.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)- Comisión Estatal del Agua (CEA). Anuario estadístico 2007. Base de datos, México, D. F.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2011. Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (SAGARPA). México, D. F. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>.
- Singh, R. P. and Rajaram, S. 1994. Genetics of adult plant resistance to stripe rust in ten spring bread wheats. *Euphytica* 72:1-7.
- Singh, R. P. and Dubin, J. H. 1997. Sustainable control of wheat diseases in México. *In: Mem. First International Wheat Symposium*. Cd. Obregón. Sonora, México. 39-103 pp.
- Singh, R. P.; Huerta E. J. and Rajaram. S. 2000. Achieving near-immunity to leaf and stripe rust in wheat by combining slow rusting resistance genes. *Acta Phytopathol. Entomol. Hungarica*. 35:133-139.
- Singh, R. P.; Huerta, E. J. and William, H. M. 2001. Resistencia durable a roya de la hoja y roya amarilla del trigo. *In: estrategias y metodologías utilizadas en el mejoramiento de trigo un enfoque multidisciplinario*. Man, M. K.; Díaz, A. M. and Castro, M. (Eds.). La estanzuela Uruguay 8-11 de Octubre. 109-117 pp.

- Singh, R. P.; Huerta, E. J. y William, H. M. 2003. Resistencia durable a roya de la hoja y roya amarilla del trigo: Genética y mejoramiento del trigo en el CIMMYT *In: estrategias y metodologías utilizadas en el mejoramiento de trigo*.
- Solís, M. E.; Salazar, Z. A.; Huerta, E. J.; Ramírez, J. R. A.; Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. E. 2003. Bárcenas S2002: nueva variedad de trigo harinero para el Bajío. *Rev. Fitotec. Mex.*
- Solís, M. E.; Huerta, E. J.; Villaseñor, M. H. E. y Aguado, S. C. 2007. Roya lineal, fenología rendimiento y sus componentes en trigo harinero (*Triticum aestivum* L.).
- Solís, M. E.; Huerta, E. J.; Pérez, H. P.; Ramírez, R. A.; Villaseñor, M. H. E.; Espitia, R. E. y Borodanenko, A. 2008. Urbina S2007: nueva variedad de trigo harinero para la región del Bajío. *Agric. Téc. Méx.* 34(1):113-118.
- Solís, M. E. Huerta, E. J.; Villaseñor, M. H. E.; Ramírez, R. A. y Pérez, H. P. 2009. Maya S2007: Nueva variedad de trigo harinero para la región el Bajío, México. *Agric. Téc. Méx.* 34(3):365-370.
- Villaseñor, E. O. M.; Huerta, E. J.; Leyva, M. S. G.; Villaseñor, M. H. E.; Singh, R. P.; Sandoval, I. J. S. y Espitia, R. E. 2009. Genética de la resistencia a roya amarilla en plantas adultas de trigo harinero. *Rev. Fitotec. Mex.* 32(3): 217-233.
- William, M. R.; Singh, R. P.; Huerta, E. J.; Ortiz, I. J. and Hoisington. 2003. Molecular marker mapping of leaf rust resistance gene *Lr46* and its association with stripe rust resistance gene *Yr29* in wheat. *Phytopathology*. 93:153-159.