

RESISTENCIA A ROYA DE LA HOJA EN VARIEDADES DE TRIGO (*Triticum* spp. L.) ADAPTADAS A EL BAJÍO, MÉXICO

RESISTANCE TO LEAF RUST IN WHEAT (*Triticum* spp. L.) VARIETIES ADAPTED TO EL BAJÍO, MÉXICO

Ernesto Solis-Moya^{1*}, Julio Huerta-Espino², María F. Rodríguez-García², Héctor E. Villaseñor-Mir²,
Eduardo Espitia-Rangel², Lourdes Ledesma-Ramírez¹ y María del P. Suaste-Franco¹

¹Programa de Trigo, Campo Experimental Bajío, INIFAP km 6.5 carr. Celaya-San Miguel. 38000. Celaya Guanajuato. ²Programa de Trigo, Campo Experimental Valle de México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Apartado Postal No. 10. 56230. Chapingo, Estado de México. (solis.ernesto@inifap.gob.mx).

RESUMEN

La roya de la hoja causada por *Puccinia triticina* es una de las principales enfermedades del trigo (*Triticum* spp. L.) en México. A través del mejoramiento genético es posible incorporar genes de resistencia en la plántula y planta adulta que permitan mantener la resistencia a la roya de la hoja por periodos largos de tiempo. El objetivo de esta investigación fue postular los genes de plántula y determinar la resistencia de la planta adulta a la roya de la hoja en variedades de trigo recomendadas para El Bajío, México. Se postularon los genes en las plántulas, en condiciones de invernadero, en 11 variedades y en el campo se determinó la resistencia de las plantas adultas. En trigos cristalinos, se postularon los genes *Lr10* y *23* y uno no identificado. *Lr10* y *23* en plántula y planta adulta son inefectivos a la raza BBG/BN que superó la resistencia de las variedades de trigos cristalinos cultivados en México. En las ocho variedades de trigo harinero se postularon los genes de resistencia *Lr1*, *3*, *3bg*, *10*, *13*, *14a*, *16*, *17*, *23*, *27* y *31*, solos o en combinaciones. Estos no difieren substancialmente de los postulados en las variedades liberadas en México hasta 1990. En las pruebas de campo se identificó resistencia de la planta adulta diferente a la de la plántula, pero en niveles que deberán ser mejorados con número mayor de genes de resistencia durable y diversificando las fuentes de resistencia.

Palabras clave: genes de resistencia, *Puccinia triticina*, planta adulta, plántula.

ABSTRACT

Leaf rust caused by *Puccinia triticina* is one of the main diseases of wheat (*Triticum* spp. L.) in México. Through breeding it is possible to incorporate resistance genes in seedling and adult plant that maintain resistance to leaf rust for long periods of time. The objective of this study was to postulate genes of seedling and determine adult plant resistance to leaf rust in wheat varieties recommended for El Bajío, México. The genes in seedlings were postulated, under greenhouse conditions, in 11 varieties and in the field adult plant resistance was determined. In durum wheat, genes *Lr10* and *23* were postulated and one not identified. *Lr10* and *23* in seedling and adult plant are ineffective to race BBG/BN that overcame the resistance of durum wheat varieties grown in México. In the eight bread wheat varieties the resistance genes *Lr1*, *3*, *3bg*, *10*, *13*, *14a*, *16*, *17*, *23*, *27* and *31*, alone or in combinations were postulated. These do not differ substantially from those postulated in the varieties released in México until 1990. In the field tests adult plant resistance was identified as different from that of the seedling, but at levels that should be improved with larger number of durable resistance genes and diversifying the sources of resistance.

Key words: resistance genes, *Puccinia triticina*, adult plant, seedling.

INTRODUCTION

Use of genetic resistance to leaf rust in wheat (*Triticum* spp. L.) is the most economical and environmentally safe control. Selection is performed to obtain maximum resistance to rust and to achieve level close to immunity; however, in most cases this type of resistance is simple inheritance (Huerta *et al.*, 2002). For this type of

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: agosto, 2012. Aprobado: mayo, 2013.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 47: 457-469. 2013.

INTRODUCCIÓN

El uso de la resistencia genética a la roya de la hoja del trigo (*Triticum* spp. L.) es el control más económico y ambientalmente seguro. La selección se realiza para obtener resistencia máxima a las royas y lograr nivel cercano a la inmunidad; sin embargo, en la mayoría de los casos este tipo de resistencia es de herencia simple (Huerta *et al.*, 2002). Para este tipo de resistencia, también conocida como resistencia de plántula, vertical, específica o de raza-monogénica, la selección es relativamente fácil en generaciones tempranas, su naturaleza es de raza específica (Parlevliet y Zadoks, 1977), y se usa contra patógenos altamente especializados. Esto es parcialmente cierto cuando se usan métodos de mejoramiento como el pedigrí o el esquema típico de retrocruza. De esta forma ciertos genes con efectos mayores, generalmente de raza específica, se acumulan en el germoplasma base usado en las hibridaciones (McIntosh *et al.*, 1995). La ausencia de un sistema recurrente o un sistema que permita recombinación mayor del carácter favorece que la resistencia específica prevalezca, o que la dominancia sea el componente genético principal de la varianza genética total de la resistencia. La duración de los genes de efectos mayores ha sido muy corta en el caso de la roya amarilla (Johnson *et al.*, 1969) y de la roya de la hoja (Singh y Dubin, 1997).

En el catálogo de genes y símbolos de trigo se enlistan más de 67 genes de resistencia a la roya de la hoja causada por *Puccinia triticina* E. (Huerta-Espino *et al.*, 2011). De estos genes, sólo *Lr34*, *Lr46*, *Lr67* y *Lr68* confieren resistencia parcial (Singh *et al.*, 2001; Herrera-Foessel *et al.*, 2011a y b) o resistencia del tipo de desarrollo lento, horizontal, poligénica o de planta adulta (Singh *et al.*, 2003). De los genes de resistencia específica usados en México, ninguno ha permanecido efectivo (Singh y Dubin, 1997) y cuando estos genes se usan individualmente han durado en promedio 5 años (Singh y Dubin, 1997; Singh *et al.*, 2001). En las 73 variedades liberadas en México de 1950 a 1989 se postuló la presencia de 13 (*Lr1*, *Lr3*, *Lr3bg*, *Lr10*, *Lr13*, *Lr14a*, *Lr16*, *Lr17*, *Lr19*, *Lr23*, *Lr26*, *Lr27* y *Lr31*) genes individuales o en combinaciones de dos o más (Singh y Rajaram, 1991; Singh, 1993). Todos estos genes fueron efectivos un tiempo corto y existen razas del hongo que superan esa resistencia.

resistencia, also known as seedling, vertical, specific or monogenic-race resistance, selection is relatively easy in early generations, it is of race-specific nature (Parlevliet and Zadoks, 1977), and is used against highly specialized pathogens. This is partly true when breeding methods are used such as pedigree or typical backcross scheme. In this way certain genes with major effects, generally of specific races, accumulate in the germplasm base to be used in the hybridizations (McIntosh *et al.*, 1995). The absence of a recurrent system or a system that allows a higher recombination of the character favors that specific resistance be that which prevails, or that the dominance be the primary genetic component of the total genetic variance of resistance. Duration of genes of greater effects has been very short in the case of yellow rust (Johnson *et al.*, 1969) and leaf rust (Singh and Dubin, 1997).

In the gene and wheat symbol catalog there are listed more than 67 genes for resistance to leaf rust caused by *Puccinia triticina* E. (Huerta-Espino *et al.*, 2011). Of these genes, only *Lr34*, *Lr46*, *Lr67* and *Lr68* confer partial resistance (Singh *et al.*, 2001; Foessel Herrera *et al.*, 2011a and b) or slow-rusting, horizontal, polygenic or adult plant resistance type (Singh *et al.*, 2003). Of the specific resistance genes used in México, none has remained effective (Singh and Dubin, 1997) and when these genes have been used individually have lasted on average 5 years (Singh and Dubin, 1997, Singh *et al.*, 2001). In the 73 varieties released in México from 1950 to 1989 the presence of 13 (*Lr1*, *Lr3*, *Lr3bg*, *Lr10*, *Lr13*, *Lr14a*, *Lr16*, *Lr17*, *Lr19*, *Lr23*, *Lr26*, *Lr27* and *Lr31*) single genes or in combinations of two or more (Singh and Rajaram, 1991; Singh, 1993) was postulated. All these genes were effective in a short time and there are races of this fungus that overcome this resistance.

The varieties Pénjamo T62, Lerma Rojo S64, Jaral F66, Bajío F67, Azteca F67, Pótam S70, Toluca F73, Tórim F73, Roque F73, Salamanca S75, Anahuac F75, Pavón F76, Jahuara M77, CIANO T79, Glenson M81, Abasolo S81 and Galvez M87, which are grown in the region of El Bajío (includes parts of the states of Querétaro, Guanajuato, Michoacán and Jalisco) have resistance genes *Lr1*, *Lr3*, *Lr10*, *Lr13*, *Lr14a*, *Lr16*, *Lr17*, *Lr23*, *Lr26*, *Lr27* and *Lr31* that differ a little from those genes postulated in the varieties grown in other regions of México, and lack the genes *Lr3bg* and *Lr19* (Singh and Rajaram,

Las variedades Pénjamo T62, Lerma Rojo S64, Jaral F66, Bajío F67, Azteca F67, Pótam S70, Toluca F73, Tórim F73, Roque F73, Salamanca S75, Anahuac F75, Pavón F76, Jahuara M77, CIANO T79, Glenson M81, Abasolo S81 y Gálvez M87, que se cultivan en la región de El Bajío (incluye parte de los estados de Querétaro, Guanajuato, Michoacán y Jalisco) poseen los genes de resistencia *Lr1*, *Lr3*, *Lr10*, *Lr13*, *Lr14a*, *Lr16*, *Lr17*, *Lr23*, *Lr26*, *Lr27* y *Lr31* que difieren poco de los genes postulados en las variedades cultivadas en otras regiones de México, y carecen de los genes *Lr3bg* y *Lr19* (Singh y Rajaram, 1991; Singh, 1993). Los genes que poseen las variedades liberadas de 1989 al 2002 en México no se han dado a conocer, aunque la mayoría ya ha sido determinada (Singh, comunicación personal^[3]).

Mediante mejoramiento genético pueden combinarse genes de resistencia de plántula y planta adulta que permitan mantener la resistencia a la roya de la hoja por periodos largos de tiempo, pero se desconocen los genes en las variedades comerciales de El Bajío. Por tanto, el objetivo de este estudio fue determinar mediante postulación los genes de resistencia y sus combinaciones en las variedades actuales de trigo y si formas de resistencia diferente a la conferida por genes mayores están en estos genotipos. La hipótesis fue que los trigos cristalinos tienen número menor de genes de plántula y planta adulta que los trigos harineros.

MATERIALES Y MÉTODOS

Genotipos

Se estudiaron 11 variedades de trigo (Cuadro 1), tres cristalinos o macarroneros, de una especie tetraploide con genoma AABB y ocho genotipos harineros con genoma AABBDD (Huerta y González, 2000).

Pruebas en invernadero

Las pruebas de postulación se realizaron en los invernaderos del CIMMYT, en El Batán, Estado de México. Los 11 genotipos se sembraron en junio del 2009, en charolas plásticas con ocho hileras y seis columnas, con capacidad para 48 entradas. Junto con estos genotipos también se sembraron las diferenciales de

1991; Singh, 1993). Genes in varieties released from 1989 to 2002 in México have not been made public, although most have already been determined (Singh, personal communication^[3]).

Through genetic improvement resistance genes from seedling and adult plant can be combined to maintain resistance to leaf rust for long periods of time, but genes in commercial varieties of El Bajío are unknown. Therefore, the objective of this study was to determine by postulation the resistance genes and their combinations in current wheat varieties and if forms of resistance different from those conferred by major genes is in these genotypes. The hypothesis was that durum wheats have fewer genes of seedling and adult plant than those of bread wheats.

MATERIALS AND METHODS

Genotypes

Eleven wheat varieties were studied (Table 1), three are durum wheat from a tetraploid species with genome AABB and eight are bread wheat genotypes, with genome AABBDD (Huerta and González, 2000).

Greenhouse tests

Postulation tests were carried out at CIMMYT's greenhouses, El Batán research station, Estado de México. The 11 genotypes were sown in June 2009, in plastic trays with eight rows and six columns, with space for 48 entries. Along with these genotypes also the differentials of leaf rust possessing a single resistance gene were sown of which 30 are lines of bread wheat and four of durum wheat. Ten days after seeding they were inoculated with urediniospores of 14 physiological leaf rust races (Singh, 1991), including race BBG/BN able to overcome the resistance of a large amount of durum wheats (Singh *et al.*, 2004). Races were collected in México since 1991 (Villaseñor *et al.*, 2003) and they have been preserved in vacuum and refrigerated in sealed glass vials. For the study, the races were placed 3 h in a chamber with 80 % HR and with them eight-day-old seedlings of the susceptible variety Morocco were inoculated. Later, spores were collected and a suspension of each of the 14 physiological races was prepared in mineral oil Soltrol 170 (Phillips Co.). With suspensions the inoculation of differentials and tested varieties were performed,

³ Investigador del Programa de Trigo del CIMMYT, Apdo. Postal 6-641. 06600. México, D.F., México ❖ ³ Researcher. Wheat Program. International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), Apdo. Postal 6-641. 06600. México, D.F., México.

Cuadro 1. Número y genealogía de 11 variedades de trigo adaptadas a la zona de El Bajío, Guanajuato, México, evaluadas en el estudio.
Table 1. Number and genealogy of 11 wheat varieties adapted to the area of El Bajío, Guanajuato, México, evaluated in the study.

Núm.	Variedad, cruce y genealogía
Trigos cristalinos	
1	TOPACIO C97=RASCON 43=NACORI C97 ALTAR 84/CMH82A.1062//RISA CD83484-B-2M-030YRC-040M-14YRC-4PAP-0Y
2	AMBAR C97=BLEATER 9=SRN2//YAVAUS/TEZ CD74062-17Y-5M-1Y-0M
3	GEMA C2004=SNTURK MI83-84 375/NIGRIS_5//TANTLO_1 CD94483-A-3Y-040M-030Y-0R
Trigos harineros	
4	CORTAZAR S94 TR810352-4R-1R-1R-0R
5	ENEIDA F94=PGO/CEL 81 TR841617-12R-0R-1R-0R
6	GRACIA=BARCENAS S 2002=BBT/2/RON//ON/II-20350/3/YDING/4/SLM/5/2F1/6/MTE TR871405-7R-2R-0R
7	MAYA S2997=845.63.6/SLM//CUBA/3/CALIOPA E B /4/LIMPIA TR970215 -6R-0C-0R-0C-0R-2R-0R
8	NORTEÑA F2007=PARULA/2*PASTOR CGSS97Y00034M-099TPB-027Y-099M-099Y-099M-27Y-0B-0250R-0R
9	URBINA S2007=CNO79/PRL//CHIL/3/CUBA/4/CASILDA/CENTELLA TR00132-10R-0R-0R-OC-3R-0R
10	MONARCA F2007=WBL1*2/TUKURU CGSS00B00173T-099TOPY-099M-099Y-099M-30CEL-0B
11	JOSECHA F2007=WBL4/KASORO//PASTOR CGSS00152T-099TOPY-099M-099Y-099M-22CEL-0B

roya de la hoja que poseen un solo gen de resistencia; de ellas 30 son líneas de trigo harinero y cuatro de cristalino. Diez días después de la siembra se inoculó con urediniosporas de 14 razas fisiológicas de roya de la hoja (Singh, 1991), incluida la raza BBG/BN capaz de superar la resistencia de una gran cantidad de trigos cristalinos (Singh *et al.*, 2004). Las razas fueron recolectadas en México desde 1991 (Villaseñor *et al.*, 2003). Estas se conservan con vacío y refrigeradas en ampollitas selladas de cristal. Para el estudio, las razas se colocaron 3 h en una cámara con 80 % HR y con ellas se inocularon plántulas de 8 d de edad de la variedad susceptible Morocco. Después, las esporas se recolectaron y se hizo una suspensión de cada una de las 14 razas fisiológicas en aceite mineral Soltrol 170 (Philps Co.). Con las suspensiones

with 10 days of age and 14 to postulate the presence of gen *Lr13*. The inoculated seedlings were kept 16 h at 100 % HR in a dew chamber, then they were placed in a greenhouse that was kept day/night with 24/20 °C. Ten days after inoculation, types of infection were evaluated on a scale of 0 to 4, according to Roelfs *et al.* (1992): the phenotypes with infection from 0 to 2 or 2 + are classified as resistant and 3 to 4 as susceptible. For this study it was important to note the type of infection, as each resistance gene expressed in the seedling produces a characteristic infection, according to each physiological race (Roelfs *et al.*, 1992, McIntosh *et al.*, 1995). Tests were repeated in June and October 2009 and January and June 2010. Also, on the same dates additional tests were included at temperatures

se realizó la inoculación de las diferenciales y las variedades de prueba, con 10 d de edad y 14 para postular la presencia del gen *Lr13*. Las plántulas inoculadas se mantuvieron 16 h en 100 % HR, en una cámara con rocío y se colocaron en un invernadero mantenido día/noche con 24/20 °C. Diez días después de la inoculación se evaluaron los tipos de infección con una escala de 0 a 4, de acuerdo con Roelfs *et al.* (1992): los fenotipos con infección de 0 a 2 o 2+ se clasifican como resistentes y con 3 a 4 como susceptibles. Para el estudio fue importante anotar el tipo de infección, pues cada gen de resistencia expresado en la plántula genera una infección característica, de acuerdo con cada raza fisiológica (Roelfs *et al.*, 1992; McIntosh *et al.*, 1995). Las pruebas se repitieron en junio y octubre del 2009 y enero y junio del 2010. En esas mismas fechas se incluyeron pruebas adicionales a temperaturas de 15 a 18 °C para detectar la presencia de los genes *Lr11* y *Lr18* (Roelfs *et al.*, 1992; McIntosh *et al.*, 1995).

Evaluación en campo

Los 11 genotipos (Cuadro 1) se sembraron en el Campo Experimental Norman E. Borlaug (CENEB) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), el 23 de noviembre del 2007. Los genotipos de trigo cristalino y harineros fueron separados porque las razas de roya de la hoja desarrollados en los dos grupos son diferentes (Huerta-Espino y Roelfs, 1989; Singh, 1991). Los genotipos se sembraron en surcos dobles (1 m de largo) y al final de cada surco se sembró la variedad susceptible, Morocco y Atil C2000 de trigos harineros y cristalinos. La inoculación se realizó el 21 de enero del 2008 y las plantas de Morocco fueron inoculadas con una mezcla de urediniosporas de la razas *MCJ/SP* y *MBJ/SP*, en tres ocasiones, para generar la epifitía, y Atil C2000 se inoculó con la raza *BBG/BN* de trigos cristalinos (Singh *et al.*, 2004). Las razas de trigos harineros fueron seleccionadas porque son las más comunes en México y son virulentas para la mayoría de los genes de resistencia de plántula (Villaseñor *et al.*, 2003). La raza *BBG/BN* se usó porque es virulenta para todas las variedades de trigo cristalino liberadas para El Bajío antes del 2011 (Huerta *et al.*, 2010).

Las lecturas de roya se hicieron el 4 y 12 de marzo del 2008. Los niveles de infección se registraron con la escala modificada de Cobb (Peterson *et al.*, 1948), que evalúa el porcentaje de infección en la hoja bandera, con base en el área de la hoja invadida por el hongo y la respuesta de la planta a la enfermedad; según esto, puede ser resistente (R), moderadamente resistente (MR), moderadamente susceptible (MS) y susceptible (S). La evaluación en campo se repitió en los ciclos primavera-verano 2008 y 2009, con siembra el 22 de julio del 2008 y 16 de julio del 2009, en El Batán, con las mismas razas usadas en el CENEB y el

from 15 to 18 °C, for detecting the presence of genes *Lr11* and *Lr18* (Roelfs *et al.*, 1992, McIntosh *et al.*, 1995).

Field evaluation

The 11 genotypes (Table 1) were sown at the Experimental Field Norman E. Borlaug (CENEB) of the National Institute for Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP), on November 23, 2007. Durum and bread wheat genotypes were separated because the races of leaf rust developed in the two groups are different (Huerta-Espino and Roelfs, 1989; Singh, 1991). Genotypes were sown in double rows of 1 m long and at the end of each row the susceptible varieties Morocco and Atil C2000 of durum and bread wheat were sown. Inoculation was made on January 21, 2008 and Morocco plants were inoculated with a mixture of urediniospores of races *MCJ/SP* and *MBJ/SP*, in three times, to generate epidemics and Atil C2000 was inoculated with race *BBG/BN* of durum wheats (Singh *et al.*, 2004). Bread wheat races were selected because they are the most common in México and are virulent for most seedling resistance genes (Villaseñor *et al.*, 2003). The race *BBG/BN* was used because it is virulent to all durum wheat varieties that were released to El Bajío before 2011 (Huerta *et al.*, 2010).

Rust readings were made on March 4 and 12, 2008. Infection levels were recorded using the modified Cobb Scale (Peterson *et al.*, 1948), which measures the percentage of infection in the flag leaf, based on the leaf area invaded by the fungus and the response of the plant to disease; according to this, can be resistant (R), moderately resistant (MR), moderately susceptible (MS) and susceptible (S). The field evaluation was repeated in spring-summer 2008 and 2009 seasons, sowing on July 22, 2008 and July 16, 2009, in El Batán, with the same races used in the CENEB and the same evaluation system. The experimental design was a randomized block design with two replications.

RESULTS AND DISCUSSION

Postulation of resistance genes in durum wheats

In México until 2001, there was only the typical race of durum wheats *BBB/BN*, and then the race *BBG/BN* appeared which was introduced to México by means hitherto unknown, which overcame the resistance of the variety Altar C84 after 16 years of intensive cultivation in southern Sonora and northern Sinaloa (Singh, 1991). Altar C84, Aconchi C89 and other varieties are susceptible to leaf rust in Chile and north Africa, including Ethiopia (Singh and Dubin, 1997).

mismo sistema de evaluación. El diseño experimental fue bloques al azar con dos repeticiones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Postulación de genes de resistencia en trigos cristalinos

En México hasta el 2001 sólo existía la raza típica de trigos cristalinos *BBB/BN*, luego surgió la raza *BBG/BN* introducida a México por medios desconocidos, que superó la resistencia de la variedad Altar C84 después de 16 años de cultivo intensivo en el sur de Sonora y norte de Sinaloa (Singh, 1991). Altar C84, Aconchi C89 y otras variedades son susceptibles a la roya de la hoja en Chile y norte de África, inclusive Etiopía (Singh y Dubin, 1997).

En las variedades Topacio C97 y Ámbar C97 se postularon los genes *Lr10* y *Lr23*, pero no en Gema C2004 (Cuadro 2).

Las plántulas de las tres variedades fueron susceptibles (en invernadero) a las dos razas nuevas de roya de la hoja, *BBG/BN* y *BCG/BN*. La segunda fue detectada en el ciclo 2007-2008, superó la resistencia de Júpatepec C2001 y no fue usada en este estudio (Huerta *et al.*, 2009). Gema C2004 no posee genes de resistencia en plántula, pues fue susceptible a ambas razas. En planta adulta (en campo), en respuesta a la inoculación con la raza *BBG/BN*, Topacio C97 mostró un gen de desarrollo lento de roya que ocasiona que los niveles máximos de infección sean menores de 30MS. La respuesta de Ámbar C97 a la misma raza fue 5MS y puede deberse a la acción de un gen de planta adulta. Gema C2004 mostró nivel máximo de infección de 30MS, que indicaría la presencia de un gen de desarrollo lento de la roya. Las mismas variedades evaluadas en El Batán en verano del 2008 y 2009 tuvieron niveles de infección mayores, porque la epifitias se inició desde las primeras etapas de desarrollo y las condiciones de humedad y temperatura fueron favorables para el desarrollo de la enfermedad. En Ámbar C97 y Topacio C97 la infección alcanzó casi 100 %, por lo que ambas variedades se consideran susceptibles y el gen de desarrollo lento de la roya no fue suficiente para protegerlas. La roya de la hoja en Gema C2004 avanzó rápidamente y fue difícil separarla del testigo susceptible Atil C2000. La infección máxima fue 60 %, lo que indica que el gen de resistencia a la

In varieties Topacio C97 and Ámbar C97 genes *Lr10* and *Lr23* were postulated, but not in Gema C2004 (Table 2).

Seedlings of the three varieties were susceptible (under greenhouse) to the new two races of leaf rust, *BBG/BN* and *BCG/BN*. The second was detected in the 2007-2008 season, it overcame the Júpatepec C2001 resistance and was not used in this study (Huerta *et al.*, 2009). Gema C2004 has not seedling resistance genes since it was susceptible to both races. In adult plant (in field) in response to inoculation with race *BBG/BN*, Topacio C97 showed a slow-rusting resistance gene causing that maximum levels of rust infection were under 30MS. Ámbar C97 response to the same race was 5MS and can be due to the action of an adult plant gene. Gema C2004 showed maximum infection level of 30 MS indicating the presence of a slow-rusting resistance gene. The same varieties evaluated at El Batán research station in summer 2008 and 2009 had higher infection levels, because epidemics started from the earliest stages of development and humidity and temperature conditions were favorable for the development of disease. In Ámbar C97 and Topacio C97 the infection reached almost 100 %, so that both varieties are considered susceptible and the slow-rusting resistance gene was not enough to protect them. Leaf rust in Gema C2004 advanced quickly and was difficult to separate it from the susceptible control Atil C2000. Maximum infection was 60 %, indicating that the slow-rusting resistance gene of this line is not enough, especially in areas where the disease is present from early stages of the crop development. The presence of *Lr46* is confirmed in durum wheat; therefore, we can infer that the resistance gene present in Gema C2004 and other durum wheats is *Lr46* (Herrera-Foessel *et al.*, 2011b), it was identified in the Atil C2000 cultivar and possibly introduced from Pitic 62, which was used as a source of dwarfism (*Rht1*) in durum wheats in México (Huerta *et al.*, 2010).

Postulation of resistance genes in bread wheats

Among the bread wheat genotypes in variety Cortazar S94 only the gene *Lr17* was postulated (Table 2) with the help of the races *BBB/BB*, *BBB/BN*, *TCB/TD* and *MFB/SP*. *Lr17* in Cortazar S94

Cuadro 2. Variedad, porcentaje de infección^y y genes de resistencia a la roya de la hoja postulados en plántula de 11 variedades de trigo adaptados a la zona de El Bajío, México.**Table 2. Variety, percentage of infection and resistance genes to leaf rust postulated in seedling of 11 wheat varieties adapted to the area of El Bajío, México.**

Variedad	Y07-08	BV08	BV09	Genes postulados
Trigos cristalinos				
Topacio C97	30MS	50MS	90S	<i>Lr10, 23, +</i>
Ámbar C97	5MS	20MS	100S	<i>Lr10, 23, +</i>
Gema C2004	15MS	30MS	60MS	<i>+</i>
Trigos harineros				
Cortazar S94	10MS	20MS	20MS	<i>Lr17</i>
Eneida F94	15MS	20MS	20MS	<i>Lr3, 10, 16 y 23</i>
Barcenás S 2002	10MS	15MS	15MS	<i>Lr3bg, Lr10, Lr13, Lr14a, Lr27 y Lr31</i>
Maya S2007	10MS	20MS	20MS	<i>Lr1, Lr10</i>
Norteña F2007	10MS	10MS	10MS	<i>Lr3, Lr14a</i>
Urbina S2007	10MS	10MS	10MS	<i>Lr1, Lr23</i>
Monarca F2007	TR	5MS	5MS	<i>Lr14a, Lr27 + 31</i>
Josecha F2007	5MS	10MS	10MS	<i>Lr10, Lr23, Lr27 + 31</i>

^y Escala modificado de Cobb (Peterson *et al.*, 1948), con dos componentes en porcentaje de infección y respuesta de la planta S=susceptible, MS=moderadamente susceptible, TR=trazas de infección. Y07-08=siembra establecida en Ciudad Obregón, Sonora en el ciclo otoño-invierno 2007-2008; BV2008 y BV2009=siembras establecidas el Batán, Estado de México, en los ciclos primavera verano 2008 y 2009 ❖ ^y Modified Cobb Scale (Peterson *et al.*, 1948), with two components in percentage of infection and response of plant S= susceptible, MS=moderately susceptible, TR=traces of infection. Y07-08=sowing established in Ciudad Obregón, Sonora in autumn-winter 2007-2008 crop season, BV2008 and BV2009=sowing established at the Batán, Estado de México, in the spring summer 2008 and 2009 crop season.

roya de desarrollo lento de esta línea no es suficiente, especialmente en las áreas donde la enfermedad se presenta desde las primeras etapas de desarrollo del cultivo. La presencia de *Lr46* en trigos cristalinos está confirmada; por tanto, se puede inferir que el gen de resistencia presente en Gema C2004 y otros trigos cristalinos es *Lr46* (Herrera-Foessel *et al.*, 2011b), fue identificado en el cultivar Atil C2000 y posiblemente introducido de Pitic 62, usado como fuente de enanismo (*Rht1*) en los trigos cristalinos en México (Huerta *et al.*, 2010).

Postulación de genes de resistencia en trigos harineros

Entre los genotipos de trigo harinero en la variedad Cortazar S94 sólo se postuló el gen *Lr17* (Cuadro 2) con la ayuda de las razas *BBB/BB*, *BBB/BN*, *TCB/TD* y *MFB/SP*. *Lr17* en Cortazar S94 pudo provenir de la variedad INIA F66, que es uno de sus progenitores (Solís *et al.*, 1996). En planta adulta, Cortazar S94 mostró resistencia a la roya de la hoja, debida al

can come from the variety INIA F66, which is one of its parents (Solís *et al.*, 1996). In adult plant, Cortazar S94 showed resistance to leaf rust; due to the action at least of three adult plant resistance genes which are of partial or slow-rusting resistance genes, and 10 to 20 % of maximum infection in the flag leaf (Table 2) according to the modified Cobb Scale (Peterson *et al.*, 1948). One of these genes is *Lr34* identified by the presence of the gene *Ltn1* (leaf tip necrosis) that is expressed by drying or necrosis of the apex of the leaf (Singh, 1992). The second gene is *Lr46*, it can also be identified in field by necrosis of the apex of the leaf (*Ltn2*) (Rosewarne *et al.*, 2006) and comes from Salamanca S75 (Kolmer *et al.*, 2008), parent of this variety.

Bárceñas S2002 has several seedling genes conferring resistance to leaf rust of wheat, including *Lr3bg*, *Lr10*, *Lr13*, *Lr14a*, *Lr27* and *Lr31*. However, for all of these genes there is already virulence in México and Bárceñas S2002 is susceptible in seedling to races *MCJ/SP* and *MBJ/SP* (Singh, 1991, Singh and Dubin, 1997), which are the most common in

menos a la acción de tres genes de resistencia de planta adulta, que son genes de resistencia parcial o de enroscamiento lento, y 10 a 20 % de infección máxima en la hoja bandera (Cuadro 2) según la escala modificada de Cobb (Peterson *et al.*, 1948). Uno de estos genes es *Lr34* identificado por la presencia del gen *Ltn1* (leaf tip necrosis) que se expresa por el secamiento o necrosis del ápice de la hoja (Singh, 1992). El segundo gen es *Lr46* también se puede identificar en campo por la necrosis del ápice de la hoja (*Ltn2*) (Rosewarne *et al.*, 2006) y proviene de Salamanca S75 (Kolmer *et al.*, 2008), progenitora de esta variedad.

Bárceñas S2002 posee varios genes de plántula que confieren resistencia a la roya de la hoja del trigo, entre ellos *Lr3bg*, *Lr10*, *Lr13*, *Lr14a*, *Lr27* y *Lr31*. Sin embargo, para todos estos genes ya existe virulencia en México y Bárceñas S2002 es susceptible en plántula a las razas *MCJ/SP* y *MBJ/SP* (Singh, 1991, Singh y Dubin, 1997), que son las más comunes en El Bajío y todas las áreas de siembra de trigo con riego y de temporal. Fue posible postular la presencia de *Lr3bg* en las pruebas de plántula, por la resistencia en contra de la raza *CCJ/SP* y por la presencia del progenitor MNG/8156=Zaragoza F75 (Singh y Rajaram, 1991) y por la combinación de los genes complementarios *Lr27+31*, provenientes del mismo progenitor. La presencia del gen *Lr10* provee a Bárceñas S2002 resistencia a la raza *TCB/TD*, una de las más comunes hasta 1994 (Singh y Dubin, 1997) y se especula que este gen proviene del progenitor Marte M86 involucrado como último progenitor en la cruce (Cuadro 1). La presencia de *Lr13* parece provenir de Salamanca S75 y otros progenitores como INIA F66 (Singh y Rajaram, 1991). También se postuló la presencia del gen *Lr14a* que proviene de los progenitores Rafaela o Pénjamo T62, involucrados en la cruce de Bárceñas S2002. Bárceñas S2002 fue resistente en planta adulta y alcanzó niveles máximos de infección de 15 a 20 % en la hoja bandera (Cuadro 2) y en respuesta a las inoculaciones artificiales con las razas *MCJ/SP* y *MBJ/SP*, a las que fue susceptible en estado de plántula. Esto indica que la resistencia en campo de esta variedad se basa al menos en tres genes de resistencia de planta adulta (Singh *et al.*, 2001 a y b). Estos genes de planta adulta tienen efectos aditivos y parece que uno de ellos es *Lr34*, que confiere resistencia de desarrollo lento (Singh *et al.*, 2001 a y b). El segundo es *Lr46*, con comportamiento similar a *Lr34* (Singh *et al.*, 1998; William *et al.*

El Bajío and all sowing areas of irrigated and rainfed wheat. It was possible to postulate the presence of *Lr3bg* in seedling tests for resistance against race *CCJ/SP* and by the presence of the parent MNG/8156=Zaragoza F75 (Singh and Rajaram, 1991) and by the combination of complementary genes *Lr27+31* from the same parent. The presence of gene *Lr10* provides Bárceñas S2002 resistance to race *TCB/TD*, one of the most common until 1994 (Singh and Dubin, 1997) and it is speculated that this gene comes from parent Marte M86 involved as last parent in the cross (Table 1). The presence of *Lr13* appears to come from Salamanca S75 and other parents as INIA F66 (Singh and Rajaram, 1991). Also it was postulated the presence of gene *Lr14a*, which comes from the parents Rafaela or Pénjamo T62, involved in the cross of Bárceñas S2002. Bárceñas S2002 was resistant in adult plant and reached maximum levels of infection from 15 to 20 % on the flag leaf (Table 2) and in response to artificial inoculations with the races *MCJ/SP* and *MBJ/SP* to which it was susceptible in seedling stage. This indicates that the field resistance of this variety is based on at least three adult plant resistance genes (Singh *et al.*, 2001 a y b). These adult plant genes have additive effects and it appears that one of them is *Lr34*, which confers slow-rusting resistance (Singh *et al.*, 2001 a y b). The second one is *Lr46* with similar behavior to *Lr34* (Singh *et al.*, 1998; William *et al.*, 2003). It is expected that this type of resistance is durable, by failing the pathogen to exercise strong pressure of selection.

In the variety Eneida F94 presence of genes *Lr3*, *10*, *16* and *23* (Table 2) was postulated. Of them, *Lr16* is the easiest to postulate due to the fact that its type of infection is peculiar "1+" (Huerta *et al.* 2002). *Lr3* was also evident by the type of infection to race *BBG/BN* and *Lr10* for its response to *TCB/TD* (type of infection (;)). Eneida F94 response to race *MCJ/QM* also allowed to postulate *Lr23*. *Lr16* presence in Eneida F94 can be explained by the presence of the variety Papago F86, derived from the BUC/PAVÓN cross, in which has been postulated and confirmed by genetic analysis (Singh and Rajaram, 1991; Singh and Huerta-Espino, 1995). Gene *Lr10* has been postulated in Pavón F76, which is one of the parents of Pápago F86 (Skovman *et al.*, 1997). Genes *Lr3* and *Lr23* could come from the variety Celaya F81 (YDING/ZENZONTLI), parent of

al., 2003). Se espera que este tipo de resistencia sea duradera, al no ejercer el patógeno presión fuerte de selección.

En la variedad Eneida F94 se postuló la presencia de los genes *Lr3*, *10*, *16* y *23* (Cuadro 2). De ellos, *Lr16* es el más fácil de postular debido a que su tipo de infección es peculiar "1+" (Huerta *et al.*, 2002). *Lr3* también se hizo evidente por el tipo de infección a la raza *BBG/BN* y *Lr10* por su respuesta a *TCB/TD* (tipo de infección '3;'). La respuesta de Eneida F94 a la raza *MCJ/QM* permitió también postular *Lr23*. La presencia de *Lr16* en Eneida F94 se puede explicar por la presencia de la variedad Pápago F86, derivada de la cruce BUC/PAVÓN, en la cual se ha postulado y confirmado mediante análisis genético (Singh y Rajaram, 1991; Singh y Huerta-Espino, 1995). El gen *Lr10* se ha postulado en Pavón F76, uno de los progenitores de Pápago F86 (Skovman *et al.*, 1997). Los genes *Lr3* y *Lr23* podrían provenir de la variedad Celaya F81 (YDING/ZENZONTLI), progenitor de Eneida F94. En planta adulta esta variedad basa su resistencia en el efecto residual de *Lr16* y otro gen con efecto aditivo (Cuadro 2).

La variedad Maya S2007 posee los genes de resistencia *Lr1* y *Lr10*. La presencia del gen residual *Lr1* se postuló por la respuesta a la infección con las razas *BBG/BN*, *CBJ/QL* y *CBJ/QB*. *Lr1* muestra su infección "0" característica cuando es efectivo (McIntosh *et al.*, 1995). *Lr10* se postuló por su respuesta a las razas *CBJ/QB* y *TCB/TD*. La presencia de *Lr10* en Maya S2007 confiere resistencia a *TCB/TD*, una de las más comunes hasta 1994 (Singh y Dubin, 1997). En México ya existe virulencia a ambos. Maya S2007 es susceptible en plántula a las razas *MCJ/SP* y *MBJ/SP* (Singh, 1991, Singh y Dubin, 1997). *Lr10* es uno de los genes presentes en especies de trigos cristalinos y trigos harineros (Huerta y González, 2000). En el ciclo primavera-verano, en respuesta a infecciones naturales en Texcoco, Estado de México y Roque, Celaya, Guanajuato, Maya S2007 mostró resistencia en planta adulta con niveles máximos de infección de 20 % en la hoja bandera. Los genes de planta adulta, uno de ellos *Lr46*, con efectos aditivos, confieren resistencia de enroscamiento lento (Singh *et al.*, 2001) a la roya de la hoja.

En Norteña F2007 se postularon los genes *Lr3* y *Lr14a*. En la plántula estos genes no presentan resistencia contra las razas *MBJ/SP* y *MCJ/SP*. *Lr14a* se

Eneida F94. In adult plant this variety bases its resistance on the residual effect of *Lr16* and another gene with additive effect (Table 2).

The variety Maya S2007 has resistance genes *Lr1* and *Lr10*. The presence of residual gene *Lr1* was postulated by the response to infection with races *BBG/BN*, *CBJ/QL* and *CBJ/QB*. *Lr1* shows its characteristic infection "0" when it is effective (McIntosh *et al.*, 1995). *Lr10* was postulated by its response to the races *CBJ/QB* and *TCB/TD*. *Lr10* presence in Maya S2007 confers resistance to *TCB/TD*, one of the most common until 1994 (Singh and Dubin, 1997). In México there is already virulence to both. Maya S2007 is susceptible in seedling to races *MCJ/SP* and *MBJ/SP* (Singh, 1991, Singh and Dubin, 1997). *Lr10* is one of genes present in species of bread wheats and durum wheats (Huerta and González, 2000). In the spring-summer crop season, in response to natural infections in Texcoco, Estado de México and Roque Celaya, Guanajuato, Maya S2007 showed adult plant resistance with maximum levels of infection of 20 % on the flag leaf. The adult plant genes, one of them *Lr46*, with additive effects, confer slow-rusting resistant (Singh *et al.*, 2001) to leaf rust.

In Norteña F2007 genes *Lr3* and *Lr14a* were postulated. In seedling these genes did not present resistance against races *MBJ/SP* and *MCJ/SP*. *Lr14a* was detected by the characteristic type of infection "X" on response to inoculation with race *BBG/BN* (Roelfs *et al.*, 1992). The adult plant of Norteña F2007 bases its resistance on the action of at least three genes of additive effect. One of them is *Lr46*, it was located in chromosome *1BL* and identified initially in the variety Pavón F76 (Singh *et al.*, 1998); having been identified on Parula and Pastor, both parents of Norteña F2007, it is found in homozygous state. The second gene is found in chromosome *7BL*, close to genes *Lr14a* and *Lr14b* (Zhang *et al.*, 2008) and it is designated as *Lr68* (Herrera-Foessel *et al.*, 2012). There is a third gene of additive effect, whose location in the genome is unknown, but its presence is evident by levels of infection that leaf rust reaches in Norteña F2007. Resistance to leaf rust that Norteña F2007 possesses is of slow-rusting type, with low levels of infection and small pustules; with the progress of the plant development resistance becomes more evident, by the small number of pustules or lesions.

detectó por el tipo de infección característico “X” en respuesta a la inoculación con la raza *BBG/BN* (Roelfs *et al.*, 1992). La planta adulta de Norsteña F2007 basa su resistencia en la acción de al menos tres genes de efecto aditivo. Uno de ellos es *Lr46*, localizado en el cromosoma *1BL* e identificado inicialmente en la variedad Pavón F76 (Singh *et al.*, 1998); al haberse identificado en Parula y Pastor, ambos progenitores de Norsteña F2007, se encuentra en estado homocigótico. El segundo gen se encuentra en el cromosoma *7BL*, cercano a los genes *Lr14a* y *Lr14b* (Zhang *et al.*, 2008) y es designado como *Lr68* (Herrera-Foessel *et al.*, 2012). Hay un tercer gen de efecto aditivo, no se conoce su localización en el genoma, pero es evidente su presencia por los niveles de infección que la roya de la hoja alcanza en Norsteña F2007. La resistencia a la roya de la hoja que Norsteña F2007 posee es del tipo de desarrollo lento, con niveles bajos de infección y pústulas pequeñas; al avanzar el desarrollo de la planta la resistencia se hace más evidente por el número reducido de pústulas o lesiones.

La variedad Urbina S2007 posee los genes *Lr1* y *Lr23* de resistencia a la roya de la hoja del trigo. La presencia del *Lr1* se postuló por la respuesta a la infección con las razas *BBG/BN*, *CBJ/QL* y *CBJ/QB*. *Lr23* se postuló por el tipo de infección Fleck (:), como un pequeño punto clorótico y/o necrótico del tamaño de la punta de un alfiler y es consecuencia de la muerte de una célula en respuesta a la infección del hongo de la raza *MCJ/QM*. Urbina S2007 es susceptible en plántula a las razas *MCJ/SP* y *MBJ/SP* (Singh, 1991; Singh y Dubin, 1997). Además, posee un tercer gen de plántula que no corresponde a los genes identificados, pero que es efectivo en contra de las razas *CCJ/SP* y otras razas identificadas en el norte de México, incluyendo una denominada *TNM/SP*. En respuesta a infecciones naturales en Texcoco (Estado de México) y Celaya (Guanajuato), donde son comunes las razas *MCJ/SP* y *MBJ/SP* y a las que la plántula Urbina S2007 es susceptible, en el ciclo primavera verano del 2006 la planta adulta mostró resistencia con infección máxima de 10 % en la hoja bandera, indicando que esta variedad nueva basa su resistencia de campo en los genes de resistencia de planta adulta *Lr34*, *Lr46* y *Lr68* (Huerta-Espino, comunicación personal^[4]).

The variety Urbina S2007 has the genes *Lr1* and *Lr23* for resistance to leaf rust in wheat. *Lr1* presence was postulated by response to infection with races *BBG/BN*, *CBJ/QL* and *CBJ/QB*. *Lr23* was postulated by the type of infection Fleck (:), as a small chlorotic and/or necrotic dot the size of the tip of a pin and is the result of the death of a cell in response to fungal infection of the race *MCJ/QM*. Urbina S2007 is susceptible in seedling to races *MCJ/SP* and *MBJ/SP* (Singh, 1991; Singh and Dubin, 1997). It also possesses a third gene of seedling that does not correspond to identified genes, but it is effective against races *CCJ/SP* and other races identified in northern México, including one called *TNM/SP*. In response to natural infections in Texcoco (Estado de México) and Celaya (Guanajuato), where races *MCJ/SP* and *MBJ/SP* are common and to which the Urbina S2007 seedling is susceptible, during the spring summer 2006 crop season adult plant showed resistance with maximum infection of 10 % on the flag leaf, indicating that this new variety bases its field resistance on genes of adult plant resistance *Lr34*, *Lr46* and *Lr68* (Huerta-Espino, personal communication^[4]).

In Monarca F2007 resistance genes *Lr14a* and *Lr27+31* were postulated. *Lr14a* is only effective against races of leaf rust mainly invading durum wheats. *Lr14a*, however, is ineffective against most invading races bread wheat, even *MBJ/SP* and *MCJ/SP*. The pair of complementary genes *Lr27+31* were identified in Jupateco F73, then in the variety Baviacora M92 that became susceptible to race *MCJ/SP* (Singh and Dubin, 1997), and from this they were transferred to the line Weebill, parent of Monarca F2007. This pair of complementary genes also provided resistance to leaf rust in durum wheat varieties Júpare C2001 and Banámichi C2004, until race *BBG/BP* appeared and overcame this resistance. *Lr27+31* is ineffective against leaf rust races *MBJ/SP* and *MCJ/SP* and race *BBG/BP* of durum wheat (Huerta-Espino *et al.*, 2009). Therefore, Monarca F2007 is susceptible in seedling state to races that combine susceptibility for *Lr14a* and *Lr27+31*, including *MCJ/SP* and *MBJ/SP*. The variety Monarca F2007 reaches almost immunity to leaf rust in adult plant and this is due to the number

⁴ Investigador del Programa de Trigo del INIFAP-CEVAMEX, Apdo. Postal 10. 56230. Chapingo, Estado de México, México ❖⁴ Researcher. Wheat Program. INIFAP-CEVAMEX, Apdo. Postal 10. 56230. Chapingo, Estado de México. México.

En Monarca F2007 se postularon los genes de resistencia *Lr14a* y *Lr27+31*. *Lr14a* es efectivo sólo contra razas de roya de la hoja que invaden principalmente los trigos cristalinos. *Lr14a*, sin embargo, es inefectivo contra la mayoría de las razas que invaden al trigo harinero, incluso *MBJ/SP* y *MCJ/SP*. El par de genes complementarios *Lr27+31*, fueron identificados en Jupateco F73, después en la variedad Baviacora M92 que se tornó susceptible a la raza *MCJ/SP* (Singh y Dubin, 1997), y de ésta se transfirieron a la línea Weebill, progenitor de Monarca F2007. Este par de genes complementarios también proporcionó resistencia a la roya de la hoja en las variedades de trigo cristalino Júpare C2001 y Banámichi C2004, hasta que la raza *BBG/BP* apareció y venció esta resistencia. *Lr27+31* es inefectivo contra las razas de roya de la hoja *MBJ/SP* y *MCJ/SP* y la raza *BBG/BP* de trigos cristalinos (Huerta-Espino *et al.*, 2009). Por tanto, Monarca F2007 es susceptible en estado de plántula a las razas que combinan susceptibilidad para *Lr14a* y *Lr27+31*, incluyendo *MCJ/SP* y *MBJ/SP*. La variedad Monarca F2007 alcanza casi inmunidad a la roya de la hoja en planta adulta y esto se debe al número de genes de efecto aditivo presente en sus progenitores. Por ejemplo, Tukurú posee hasta cinco genes de resistencia de enrocamiento lento y es un progenitor cuya estabilidad de la resistencia es muy alta en México y otros países donde la roya de la hoja alcanza niveles epidémicos altos. El análisis genético del progenitor Tukurú en México reveló la presencia de cinco genes de efecto aditivo (Singh *et al.*, 2000; Singh y Huerta-Espino, 2001 a y b). El progenitor Weebill posee tres a cuatro genes de efecto aditivo (Zhang *et al.*, 2008), de manera que Monarca F2007 adquiere niveles altos de resistencia a la roya de la hoja. Entre los genes de resistencia durable que Monarca F2007 posee, está *Lr34* que es efectivo desde que Yaqui 50 se liberó en México (Kolmer *et al.*, 2008) y clonado recientemente, lo que ayuda a entender su naturaleza y durabilidad (Krattinger *et al.*, 2009). Monarca F2007 también posee *Lr46* (Singh *et al.*, 1998) que es efectivo desde que Pavón F76 fue liberado en 1976 para el noroeste de México y con buena adaptación para siembras de temporal.

En Josecha F2007 se postularon los genes *Lr10*, *Lr23* y *Lr27+31*. *Lr10* se postula por su respuesta a la raza *TCB/TD* con su tipo de infección Fleck (:).

of additive effect genes present in their parents. For example, Tukurú has up to five slow-rusting resistance genes, and is a parent whose resistance stability is very high in México and other countries where leaf rust reaches high epidemic levels. Genetic analysis of progenitor Tukurú in México revealed the presence of five additive effect genes (Singh *et al.* 2000; Singh and Huerta-Espino, 2001 a and b). The parent Weebill has three or four additive effect genes (Zhang *et al.*, 2008), so that Monarca F2007 acquires high levels of resistance to leaf rust. Among the durable resistance genes that Monarca F2007 possesses is gene *Lr34*, which is effective since Yaqui 50 was released in México (Kolmer *et al.*, 2008) and cloned recently, which helps to understand its nature and durability (Krattinger *et al.*, 2009). Monarca F2007 also has *Lr46* (Singh *et al.*, 1998) which remains effective since Pavón F76 was released in 1976 to the northwest of México and with good adaptation to rainfed crops.

In Josecha F2007 genes *Lr10*, *Lr23* and *Lr27+31* were postulated. *Lr10* is postulated by its response to race *TCB/TD* with its type of infection Fleck (:). It is speculated that *Lr23* in the variety Josecha F2007 derives from Pastor (Rebeca F2000), which is parent in its cross and in which its presence has been postulated (Huerta *et al.*, 2002). Complementary genes *Lr27+Lr31* were identified by their characteristic infection type "x" in response to an avirulent race as *LCJ/BN*. In response to artificial inoculations with races *MCJ/SP* and *MBJ/SP*, to which the Josecha F2007 seedling is susceptible, in the spring-summer crop season in Celaya, in adult plant the maximum severity on the flag leaf was 10 %, indicating that its field resistance is based on at least three adult plant genes (Singh *et al.* 2001 a and b). These adult plant genes have additive effects and confer slow-rusting resistance (Singh *et al.*, 2001 a and b) to leaf rust that is effective against all races that exist in México and other countries, and protects against epidemics up to 84 % (Singh and Huerta-Espino, 1997).

CONCLUSIONS

No variety was susceptible to all races used in the study and there was indeed resistance to all of them. In durum wheats two seedling genes were postulated and 11 in bread wheats in different combinations to leaf rust; for all of these genes there is already

Se especula que *Lr23* en la variedad Josecha F2007 proviene de Pastor (Rebeca F2000), que es progenitor en su cruce y en el cual se ha postulado su presencia (Huerta *et al.*, 2002). Los genes complementarios *Lr27+Lr31* se identificaron por su tipo de infección característico “x” en respuesta a una raza avirulenta como *LCJ/BN*. En respuesta a inoculaciones artificiales con las razas *MCJ/SP* y *MBJ/SP*, a las cuales la plántula de Josecha F2007 es susceptible, en el ciclo primavera-verano en Celaya, en planta adulta la severidad máxima en la hoja bandera fue 10 %, indicando que basa su resistencia de campo en al menos tres genes de planta adulta (Singh *et al.*, 2001 a y b). Estos genes de planta adulta tienen efectos aditivos y confieren resistencia de desarrollo lento (Singh *et al.*, 2001 a y b) a la roya de la hoja que es efectiva contra todas las razas que hay en México y otros países, y protege contra las epifitias hasta en 84 % (Singh y Huerta-Espino, 1997).

CONCLUSIONES

Ninguna variedad fue susceptible a todas las razas usadas en el estudio y sí hubo resistencia a todas ellas. En trigos cristalinos se postularon dos genes de plántula y 11 en harineros en diferentes combinaciones a la roya de la hoja; para todos estos genes ya hay virulencia en México. La resistencia a la roya de la hoja en planta adulta en el campo es adecuada en variedades de trigos harineros pero no en los trigos cristalinos.

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación Guanajuato Produce A. C. por el financiamiento parcial al proyecto 562/11 “Materiales de trigo adaptados y con características para la producción en el estado de Guanajuato, y de alta calidad para la industria (de gluten suave y gluten fuerte)”.

LITERATURA CITADA

- Herrera-Foessel, S. A., E. S. Lagudah, J. Huerta-Espino, M. J. Hayden, H. S. Bariana, D. Singh, and R. P. Singh. 2011a. New slow-rusting leaf rust and stripe rust resistance genes *Lr67* and *Yr46* in wheat are pleiotropic or closely linked. *Theor. Appl. Genet.* 122: 239-249.
- Herrera-Foessel, S. A., R. P. Singh, J. Huerta-Espino, V. Calvo S., and E. S. Lagudah. 2011b. First report of slow rusting gene *Lr46* in durum wheat. Book of abstracts 2011 BGRI Tech. Workshop Jun. 13-16 Saint Paul MN. USA. 191 p.
- virulence in México. Resistance to adult plant leaf rust, in the field is adequate in bread wheat varieties but not in durum wheats.
- End of the English version—
- *—
- Herrera-Foessel, S. A., R. P. Singh, J. Huerta-Espino, G. M. Rosewarne, S. K. Periyannan, L. Viccars, V. Calvo-Salazar, C. Lan, and E. S. Lagudah. 2012. *Lr68*: A new gene conferring slow rusting resistance to leaf rust in wheat. *Theor. Appl. Genet.* 124: 1475-1486.
- Huerta-Espino, J., and A. P. Roelfs. 1989. Physiological specialization of leaf rust on durum wheat. *Phytopathology* 79: 1218.
- Huerta, E. J., y R. M. González I. 2000. Tipos y grupos de trigo. *In*: Villasenor Mir, H. E., y E. Rangel E. (eds). El trigo de temporal en Mexico. Chapingo, Estado de México, México, SAGAR, INIFAP CIRCE, Campo Experimental Valle de México. (Libro Técnico Núm. 1). pp: 40-51.
- Huerta, E. J., H. E. Villaseñor M., E. Espitia R., S. G. Leyva M., y R. P. Singh. 2002. Análisis de la resistencia a la roya de la hoja en trigos harineros para temporal. *Rev. Fitotec. Mex.* 25: 161-169.
- Huerta-Espino, J., R. P. Singh, S. A. Herrera-Foessel, J. B. Perez-Lopez, and P. Figueroa-López 2009. First detection of virulence in *Puccinia triticina* to resistance genes *Lr27+Lr31* present in durum wheat in Mexico. *Plant Dis.* 93(1): 110.
- Huerta, E. J., R. P. Singh, H. E. Villaseñor M., E. Solís M., E. Espitia R., y S. G. Leyva M. 2010. Transferencia del gen *Lr14a* de trigos harineros a trigos cristalinos y expresión de la resistencia a roya de la hoja. *Rev. Fitotec. Mex.* 33 (1): 29-36.
- Huerta-Espino, J., R. Singh, S. Germán, B. McCallum, R. Park, W. Chen, S. Bhardwaj, and H. Goyeau. 2011. Global status of wheat leaf rust caused by *Puccinia triticina*. *Euphytica* 179(1): 143-160.
- Johnson, R., M. S. Wolfe, and P. R. Scott. 1969. Pathology Annual Report of the Plant Breeding Institute 1968, Cambridge, U.K. pp: 113-123.
- Krattinger, S.G., E. S. Lagudah, W. Spielmeier, R. P. Singh, J. Huerta-Espino, H. McFadden, E. Bossolini, L. L. Selter, and B. Keller. 2009. A putative ABC transporter confers durable resistance to multiple fungal pathogens in wheat. *Science* 323: 1360-1363.
- Kolmer, J. A., R. P. Singh, D. F. Garvin, L. Viccars, H. M. William, J. Huerta-Espino, F. C. Ogbonnaya, H. Raman, S. Orford, H. S. Bariana, and E. S. Lagudah. 2008. Analysis of the *Lr34/Yr18* rust resistance region in wheat germplasm. *Crop Sci.* 48: 1841-1852.
- McIntosh, R. A., C. R. Wellings, and R. F. Park. 1995. Wheat Rusts: An Atlas of Resistance Genes. CSIRO Australia. 200 p.
- Parlevliet, J. E., and J. C. Zadocks. 1977. The integrated concept of disease resistance; a new view including horizontal and vertical resistance in plants. *Euphytica* 26: 5-21.
- Peterson, R. F., A. B. Campbell, and A. E. Hannah. 1948. A diagrammatic scale for estimating rust intensity of leaf and stems of cereals. *Can. J. Res. Section C.* 26: 496-500.

- Roelfs, A. P., P. R. Singh, and E. E. Saari. 1992. Las royas del trigo: Conceptos y métodos para el manejo de esas enfermedades. México, D.F. CIMMYT. 81 p.
- Rosewarne, G. M., R. P. Singh, J. Huerta-Espino, H. M. William, S. Bouchet, S. Cloutier, H. McFadden, and E. S. Lagudah. 2006. Leaf tip necrosis, molecular Markers and β 1-proteasome subunits associated with the slow rusting resistance genes *Lr46/Yr29*. *Theor. Appl. Genet.* 112: 500-508.
- 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: 790-794.
- Singh, R. P. 1992. Association between gene *Lr34* for leaf rust resistance and leaf tip necrosis in wheat. *Crop Sci.* 32: 874-878.
- Singh, R. P. 1993. Resistance to leaf rust in 26 Mexican wheat cultivars. *Crop Sci.* 33: 633-637.
- Singh, R. P., and S. Rajaram. 1991. Resistance to *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* in 50 Mexican bread wheat cultivars. *Crop Sci.* 31: 1372-1479.
- Singh, R. P., and J. Huerta-Espino. 1995. Inheritance of seedling and adult-plant resistance to leaf rust in bread wheat cultivars Ciano 79 and Papago 86. *Plant Dis.* 79: 35-38.
- Singh, R. P., and J. H. Dubin. 1997. Sustainable control of wheat diseases in Mexico. *In: Pacheco, C. J. J., y S. L. Perez. (comps). Memorias del Primer Simposio Internacional de Trigo. Abril 7-9 de 1997. Cd. Obregón, Sonora, Mexico. pp: 93-103.*
- Singh, R. P., and J. Huerta-Espino. 1997. Effect of leaf rust resistance gene *Lr34* on grain yield and agronomic traits of spring wheat. *Crop Sci.* 37: 390-39.
- Singh, R. P., K. A. Mujeeb, and J. Huerta E. 1998. *Lr46* a gene conferring slow rusting resistance to leaf rust in wheat. *Phytopathology* 88: 890-894.
- Singh, R. P., J. Huerta-Espino, and S. Rajaram. 2000. Achieving near-immunity to leaf and stripe rusts in wheat by combining slow rusting resistance genes. *Acta Phytopathol. Hung.* 35: 133-139.
- Singh, R. P., J. Huerta-Espino, and M. William. 2001a. Slow rusting genes based resistance to leaf and yellow rusts in wheat: Genetics and breeding at CIMMYT. *In: Eastwood R., G. Hollamby, T. Rathjen, and N. Gororo. (eds). Wheat Breeding Society of Australia Inc. 10th Assembly Proc. 16th-21st September 2001. Mildura, Australia. pp: 103-108.*
- Singh, R. P., and J. Huerta-Espino. 2001b. Sources and genetic basis of variability of major and minor genes for yellow rust resistance in CIMMYT wheats. *In: CIMMYT. 2000. The Eleventh Reg. Wheat Workshop for Eastern, Central and Southern Africa. Addis Ababa, Etiopia: CIMMYT. pp: 144-151.*
- Singh, R. P., J. Huerta E., y M. William. 2003. Resistencia durable a roya de la hoja y roya amarilla del trigo: genética y mejoramiento en el CIMMYT. *In: Kholi, M., M. Díaz, y M. Castro M. (eds). Estrategias y Metodologías Utilizadas en el Mejoramiento de Trigo. Seminario Internacional, La Estanzuela, Uruguay. CIMMYT-INIA. pp: 109-118.*
- Singh, R. P., J. Huerta-Espino, W. Pfeiffer, and P. Figueroa-Lopez. 2004. Occurrence and impact of a new leaf rust race on durum wheat in the Northwestern Mexico during 2001-2002. *Plant Dis.* 88: 703-708.
- Skovmand, B., R. Villareal, M. Van Ginkel, S. Rajaram, and G. Ortiz-Ferrara. 1997. Semidwarf bread wheats: names, parentages, pedigrees, and origins. Mexico. D.F. CIMMYT. 80 p.
- Solis, M., E., A. Salazar Z., y J. Narro S. Octubre 1996. Cortazar S94: Nueva variedad de trigo harinero para El Bajío. Folleto Técnico Núm. 2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigaciones Regional del Centro. Campo Experimental Bajío, Celaya, Guanajuato, México. 16 p.
- Villaseñor, E., O. M., J. Huerta E., S. G. Leyva M., E. Villaseñor M., y E. Espitia R. 2003. Análisis de virulencia de la roya de la hoja (*Puccinia triticina* Eriks.) del trigo (*Triticum aestivum* L.) en Los Valles Altos de México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 21(1): 56-62.
- William, M., R. P. Singh, J. Huerta-Espino, S. Ortiz Islas, and D. 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.
- Zhang, J. X., R. P. Singh, J. A. Kolmer, J. Huerta-Espino, and A. Anderson. 2008. Inheritance of leaf rust resistance in CIMMYT Wheat Weebill 1. *Crop Sci.* 48: 1037-1047.