

PRUEBA DE SIMILITUD EN GENES CON RESISTENCIA A ROYA DEL TALLO EN GENOTIPOS DE AVENA*

TEST OF SIMILARITY IN GENES WITH RESISTANCE TO STEM RUST IN OAT GENOTYPES

Luis Antonio Mariscal Amaro^{1§}, Julio Huerta Espino², Héctor Eduardo Villaseñor Mir², Santos Gerardo Leyva Mir³, Sergio Sandoval Islas¹ e Ignacio Benítez Riquelme¹

¹Posgrado en Fitosanidad. Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco, km 35.5. Montecillo, Estado de México. C. P. 56230. Tel. 01 595 9520229. Fax. 01 595 9520230. (Sandoval@colpos.mx), (riquelme@colpos.mx). ²Campo Experimental Valle de México. INIFAP. Carretera los Reyes-Lechería, km 18.5. Chapingo, Estado de México. A. P. 10. C. P. 56230. Tel. 01 595 9542277, 9542877. Ext. 127. (huerta.julio@inifap.gob.mx), (hevimir3@yahoo.com.mx). ³Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, km 38.5. Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. Tel. 01 595 9521500. Ext. 6179. (lsantos@correo.chapingo.mx). [§]Autor para correspondencia: lmariscal@colpos.mx.

RESUMEN

La roya del tallo causada por *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *Avenae*, es considerada el factor biótico que más afecta al cultivo de avena (*Avena sativa* L.), disminuyendo el rendimiento y peso de grano en variedades susceptibles, en 75% y 60%, respectivamente. La estrategia que más ha apoyado al control de esta enfermedad es el uso de variedades resistentes, requiriéndose constantemente de fuentes de resistencia. La forma cómo opera la resistencia y los genes que están confiriéndola en el germoplasma de avena se desconoce; de tal modo, que es necesario hacer más estudios sobre número y similitud de genes así como de su forma de acción. El objetivo del estudio fue determinar la similitud y el número de genes de resistencia en planta adulta y plántula, en familias F₃ de cruces entre seis progenitores de avena, moderadamente resistentes a roya del tallo; por su importancia para los programas de mejoramiento como fuentes de resistencia, mediante el análisis de las progenies derivadas de las cruces entre ellos desde 2006 a 2009. En estado de plántula en invernadero, los progenitores por separado tuvieron lecturas de 0, “;”, y 1, indicando su resistencia ante el aislamiento PgaMex99.13. Las familias F₃ de todas las cruces no segregaron familias susceptibles, indicando que estos seis progenitores poseen un gen en

ABSTRACT

The stem rust caused by *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *Avenae* is considered the biotic factor that affects the most to oat cultivation (*Avena sativa* L.), decreasing yield and grain weight in susceptible varieties, in 75% and 60%, respectively. The strategy that has supported control of this disease is the use of resistant varieties, constantly requiring of resistance sources. The way resistance works, and the genes that give it to oat germoplasm, is still unknown; then is necessary to make more studies about number and similarity of genes as well as in their activity. The aim of the study was to determine similarity and number of resistance genes in mature plant and seedlings, in families F₃ of crosses between oat parents, moderately resistant to stem rust; due their importance for the programs of improvement as resistance sources, by means of analysis of the derived progenies of cross between them from 2006 to 2009. In greenhouse seedling state, the parents, considering each one apart, had readings of 0, “;”, and 1, indicating their resistance to isolation PgaMex99.13. The families F₃ of all breeds didn't segregate susceptible families, indicating that these six parents have a gene in common conferring resistance against tested isolation. In field, even with inoculations of same isolation, the families in all breeds showed different

* Recibido: marzo de 2010
Aceptado: octubre de 2010

común confiriendo resistencia contra el aislamiento probado. En campo, aún con inoculaciones del mismo aislamiento, las familias en todas las cruas mostraron diferentes niveles de infección, algunos mayores a 60% indicando la incidencia de otras razas distintas a la inoculada, para las cuales el gen de resistencia en común en los progenitores no fue efectivo.

Palabras clave: *Avena sativa* L., *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *avenae* Eriks. y Henn., diversidad genética.

INTRODUCCIÓN

La avena (*Avena sativa* L.), es el sexto cereal más importante del mundo en producción de grano después del trigo (*Triticum aestivum* L.), maíz (*Zea mays* L.), arroz (*Oryza sativa* L.), cebada (*Hordeum vulgare* L.) y sorgo (*Sorghum vulgare* Pers.) (Leyva *et al.*, 2004); con una producción anual de 26 millones de toneladas de grano (Gold *et al.*, 2005). En México se sembró 730 671 ha de avena forrajera en 2008 y se obtuvo una producción de 11 022 151 t con un rendimiento de 15.5 t ha⁻¹; el valor de la producción fue de \$ 3 606 304 000.00. Para avena de grano la superficie sembrada fue 104 519 ha, la producción fue 148 136 t y un rendimiento de 1.5 t ha⁻¹, siendo el valor de la producción de \$ 312 658 000.00.

Los principales estados productores fueron Chihuahua, Zacatecas, Estado de México, Durango y Coahuila con una producción de 3 012 945 t, 2 174 652 t, 1 619 568 t, 1 530 931 t y 541 561 t de forraje, respectivamente. En 2008, se cultivaron 15 178 ha de avena para grano en los Valles Altos de México, obteniéndose una producción de 22 559 t y de forraje fueron 96 761 ha con una producción de 2 145 229 t (SIAP, 2009).

Las royas son enfermedades destructivas en avena, afectando en la etapa de plántula hasta el llenado de grano (Leyva *et al.*, 2004) y en Valles Altos de la Mesa Central son un factor limitante para este cultivo (Villaseñor *et al.*, 2001). La roya del tallo puede reducir el rendimiento de grano (75%) y el peso del mismo (60%) (Epstein *et al.*, 1988). La pérdida en producción de materia seca en variedades susceptibles son 32% a 42% (Villaseñor *et al.*, 2001). En las variedades Chihuahua y Juchitepec causó pérdidas en producción de grano de 755 y 714 kg ha⁻¹, esto es 36% y 35% (Leyva *et al.*, 2004).

En México no hay estudios sobre la diversidad genética en la resistencia a roya del tallo, que tienen las variedades de avena sembradas en Valles Altos de México. La falta de

infection levels, some above at 60% indicating the incidence of other breeds different to the one inoculated, for which the resistance gene common in the parents was not effective.

Key words: *Avena sativa* L., *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *avenae* Eriks. and Henn., genetic diversity.

INTRODUCTION

The oat (*Avena sativa* L.), is the sixth most important cereal worldwide in grain production after wheat (*Triticum aestivum* L.), corn (*Zea mays* L.), rice (*Oryza sativa* L.), barley (*Hordeum vulgare* L.) and sorghum (*Sorghum vulgare* Pers.) (Leyva *et al.*, 2004); with an annual production of 26 million tons of grain (Gold *et al.*, 2005). In México it was sowed 730 671 ha of forage oat in 2008 were sown and a production of 11 022 151 t was obtained with a yield of 15.5 t ha⁻¹; the value of production was of \$ 3 606 304 000.00 Sown surface for grain oat was 104 519 ha, the production was 148 136 t and a yield of 1.5 t ha⁻¹, being the value of the production of \$ 312 658 000.00

The main producing states were Chihuahua, Zacatecas, State of México, Durango and Coahuila with a production of 3 012 945 t, 2 174 652 t, 1 619 568 t, 1 530 931 t and 541 561 t of forage, respectively. In 2008, 15 178 ha were cultivated with oat for grain in the High Valleys of Mexico, obtaining a production of 22 559 t and for forage were 96 761 ha with a production of 2 145 229 t (SIAP, 2009).

Rust are the most destructive diseases in oat, affecting from seedling stage until filling grain (Leyva *et al.*, 2004) and in the High Valleys of Central Plateau they are a restrictive factor for oat cultivation (Villaseñor *et al.*, 2001). Stem rust can reduce grain yield (75%) and weight (60%) (Epstein *et al.*, 1988). The loss in production of dry matter in susceptible varieties is 32% to 42% (Villaseñor *et al.*, 2001). In the varieties Chihuahua and Juchitepec the disease caused losses in production of grain of 755 and 714 kg ha⁻¹, this is 36% and 35% of general losses (Leyva *et al.*, 2004).

In Mexico there are no studies about genetic diversity in resistance to stem rust that have the varieties of oat sown in High Valleys of Mexico. The lack of studies is perhaps due to difficulty to make the cross in this cultivation for how complicated is to work with spikelets, and to little importance that until few years ago was given to pathogen.

estudios quizá se deba a la dificultad para hacer las cruzas en este cultivo por lo complicado que es trabajar con las espiguillas, y a la poca importancia que hasta hace pocos años se le dio al patógeno. Sólo en países como Australia, Canadá y Estados Unidos de América se han hecho estudios, donde se ha observado el número y similitud de genes que tienen algunos genotipos resistentes al evaluar las cruzas entre ellos.

Para un uso más eficiente de las fuentes de resistencia que poseen los genotipos de avena en México, es necesario conocer sus modos de herencia, en este caso en particular, la similitud y cuantía de genes; sin embargo, las bases genéticas en el germoplasma de este cultivo es en gran parte desconocido.

Como en el caso de otros cereales, el número de genes que poseen los genotipos de avena resistentes al hacer las cruzas entre ellos, se obtiene al ajustar las frecuencias de las plantas o plántulas en familias F_3 a frecuencias esperadas como la 13:3 y la 63:1, para dos y tres genes de resistencia involucrados, respectivamente.

Artie y Frey (1959) al hacer estudios genéticos entre genotipos resistentes de avena a roya del tallo, encontraron evidencia de segregaciones 13:3 para plántulas resistentes y susceptibles, indicando la existencia de un par de genes confiriendo la resistencia, uno dominante proporcionado por uno de los progenitores y un gen recesivo dado por el otro. Welsh *et al.* (1961) encontraron evidencia de segregaciones 63:1 para resistentes y susceptibles en plántulas de una cruce entre progenitores resistentes, indicando la presencia de tres genes confiriendo la resistencia que se pueden heredar independientemente. Adhikari *et al.* (1999) en cruces entre el progenitor resistente 'Omega' con otras 15 líneas resistentes, observó que todas las familias de estas cruces fueron resistentes homocigóticas, indicando que la falta de segregantes susceptibles, se debió que los progenitores tenían los mismos genes o estos eran diferentes, probablemente eran genes ligados o alélicos.

Se hicieron cruces entre líneas conteniendo cada una de ellas un gen de resistencia específico, siendo el gen Pg10 constante en una de las líneas progenitoras. En todas las cruces hubo segregación de plantas resistentes y susceptibles. Sin embargo, en las cruces Pg1/Pg10, Pg2/Pg10, Pg3/Pg10 y Pg4/Pg10 inoculadas con la raza NA1, la segregación de plantas se ajustó a una proporción de 15:1 (resistentes/susceptibles), esperada para dos genes dominantes.

Only in countries such as Australia, Canada and United States of America studies have been made, where it has been observed the number and similarity of genes that have some resistant genotypes when evaluating the cross between them.

In Mexico for a more efficient use of the resistance sources that oat genotypes have, it is necessary to know their inheritance ways, in this particular case, the similarity and quantity of genes; however, the genetic bases in germoplasm of this crop are unknown.

As in case of other cereals, the number of genes that have resistant genotypes of oat when making the crosses between them, is obtained when adjusting the frequencies of plants or seedlings in families F_3 to prospective frequencies as 13:3 and the 63:1, for two and three involved resistance genes, respectively.

Artie and Frey (1959) when making genetic studies among resistant genotypes of oat to stem rust, found evidence of segregations 13:3 for resistant and susceptible seedlings, indicating the existence of a couple of genes conferring the resistance, one dominant provided by one of the parents and a recessive gene given by the other one. Welsh *et al.* (1961) found evidence of segregations 63:1 for resistant and susceptible in seedlings of crosses between resistant parents, indicating the presence of three genes conferring the resistance that can be independently inherited. Adhikari *et al.* (1999) in crosses between the 'Omega' resistant progenitor with other 15 resistant lines, observed that all the families of these crosses were homozygous resistant, indicating that the lack of susceptible segregantes, was due that the parents had the same genes or these were different, probably were bound or allelic genes.

Crosses between lines were made each containing a specific resistance gene, being the gene Pg10 constant in one of the parent lines. In all crosses there was segregation of resistant and susceptible plants. However, in crosses Pg1/Pg10, Pg2/Pg10, Pg3/Pg10 and Pg4/Pg10 inoculated with the breed NA1, the segregation of plants was adjusted to a proportion of 15:1 (resistant/susceptible), prospective for two dominant genes. Similarly, for crosses Pg8/Pg10, Pg9/Pg10 and Pg13/Pg10 inoculated with NA27, proportions of 3:1 were observed (Pg8/Pg10), prospective for an only gene, 13:3 (Pg9/Pg10 and Pg13/Pg10) prospective for a dominant gene and one recessive, and 15:1 prospective for two dominant genes in cross Pg15/Pg10 (Harder, 1999).

Similarmente, para las cruzas Pg8/Pg10, Pg9/Pg10 y Pg13/Pg10 inoculadas con NA27, se observaron proporciones de 3:1 (Pg8/Pg10), esperada para un sólo gen, 13:3 (Pg9/Pg10 y Pg13/Pg10) esperada para un gen dominante y uno recesivo, y 15:1 esperada para dos genes dominantes en la cruz Pg15/Pg10 (Harder, 1999).

La evaluación de cruzas de los progenitores de avena 'Burnett'*'C. I. 3030', 'Burnett'*'C. I. 2710' y 'Burnett'*'C. I. 3031' contra la raza 6 de roya del tallo y las segregaciones de plántulas F₂ en las tres cruzas, se ajustaron satisfactoriamente a la proporción 13 resistentes: 3 susceptibles. En estos casos, dos pares de genes independientes parecen estar segregando; el progenitor 'Burnett' contribuyó con el alelo dominante y el otro progenitor ('C. I. 3030', 'C. I. 2710' ó 'C. I. 3031') contribuyó con el alelo recesivo, donde la resistencia fue recesiva (Browning y Frey, 1959).

En avena y 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. Murphy *et al.* (1958) al evaluar cruzas entre progenitores resistentes*susceptibles de avena, encontraron en 111 familias evaluadas la presencia de solo una familia homocigótica susceptible, sugiriendo el ajuste a una proporción esperada de 37:26:1 cuando tres genes dominantes operan en la resistencia.

También encontraron en una de las cruzas que todas sus familias F₃ fueron resistentes y moderadamente resistentes a la raza 276 de roya de la corona, siendo que el progenitor 'C. D. 3820' exhibe un grado de resistencia alto y distinto al progenitor 'C. I. 4748', con base en esto se concluyó que el gen o genes de resistencia que tienen estos dos genotipos son alélicos y explican la ausencia de segregantes susceptibles entre la progenie. Lo anterior no prueba que los progenitores posean en común un locus de resistencia.

McKenzie *et al.* (1970) también encontraron evidencia de genes de resistencia alélicos o muy ligados al gen Pg4 en el progenitor 'CW490-2', esto lo observaron al evaluar las familias F₃ de la cruz ('CW490-2'*'Rod.O³')*'Rodney', en donde ninguna de las 160 familias probadas segregaron o fueron susceptibles a la raza C5 de roya del tallo.

The evaluation of crosses of the oat parents 'Burnett'*'C. I. 3030', 'Burnett'*'C. I. 2710' and 'Burnett'*'C. I. 3031' against the breed 6 of stem rust and the seedlings segregations F₂ in three crosses, they were satisfactorily adjusted to the proportion 13 resistant: 3 susceptible. In these cases, two couples of independent genes seem to be segregating; the progenitor 'Burnett' contributed with the dominant allele and the other progenitor ('C. I. 3030', 'C. I. 2710' or 'C. I. 3031') it contributed with the recessive allele, where the resistance was recessive (Browning and Frey, 1959).

In oat and other cereals, the similarity of resistance genes that can be observed when evaluating the resulting progenies of crosses between resistant progenitors, it becomes evident when there is no segregation in such progenies of homozygous susceptible families. Murphy *et al.* (1958) when evaluating crosses among parents resistant*susceptible of oat, they found in 111 evaluated families the presence of only one homozygous susceptible family, suggesting the adjustment to a prospective proportion of 37:26:1 when three dominant genes operate in the resistance.

They also found in one of the crosses that all families F₃ was resistant and moderately resistant to breed 276 of crown rust, being that the progenitor 'C. D. 3820' exhibits a high resistance grade and different to the progenitor 'C. I. 4748', based in this it was concluded that the resistance gene or genes that have these two genotypes are allelic and they explain the absence of susceptible segregants between the progenie. The above mentioned doesn't prove that progenitors have a resistance locus in common.

McKenzie *et al.* (1970) also found evidence of resistance allelic genes or very bound to gene Pg4 in the progenitor 'CW490-2', they observed this when evaluating the families F₃ of cross ('CW490-2'*'Rod.O³')*'Rodney' where none of the 160 tested families segregated or were susceptible to the breed C5 of stem rust.

Dick (1966) when evaluating the crosses between the progenitors 'C. D. 3820'*'C. D. 7994', both resistant to breed 264 of crown rust, found that the segregation of families F₃ of such cross were adjusted to proportion 7 resistant: 8 segregantes: 1 susceptible when they were tested to beed 294. These results were explained assuming the presence of two resistance genes, Pc-15 of 'C. D. 3820' and one second of 'C. D. 7994'.

Dick (1966) al evaluar la cruce entre los progenitores 'C. D. 3820' * 'C. D. 7994', ambos resistentes a la raza 264 de roya de la corona, encontró que la segregación de las familias F₃ de dicha cruce se ajustaron a la proporción 7 resistentes: 8 segregantes: 1 susceptible cuando se probaron ante la raza 294. Estos resultados se explicaron asumiendo la presencia de dos genes de resistencia, el Pc-15 de 'C. D. 3820' y un segundo de 'C. D. 7994'.

Se ha propuesto la teoría de la similitud de genes de resistencia en genotipos resistentes; en varios trabajos como en el caso de 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 al observar que las 33 familias F₃ fueron resistentes. De la misma manera, se observó en la cruce 'Ukraine' * 'C. I. 6829', en donde las 25 familias F₃ fueron resistentes a la raza 6AF en estado de plántula. Aparentemente el genotipo 'Ukraine' también tuvo el mismo gen 'H' de resistencia.

Singh y McIntosh (1984) en cruces entre progenitores de trigo resistentes 'Gatcher', 'Timgalen' y 'SUN27A', encontraron que dentro de las progenies de plántulas F₂ no hubo plántulas homocigóticas susceptibles, ya que sólo hubo plántulas con fenotipos ubicados dentro del rango mostrado por sus respectivos progenitores resistentes. Estos resultados proveyeron evidencia genética que estos tres progenitores comparten el mismo o los mismos genes de resistencia.

Navabi *et al.* (2003) evaluaron familias F₅ de intercruzas entre los progenitores resistentes 'Saar', 'Simorgh', 'Homa', 'Parastoo' y 'Cocnoos', para estudiar la similaridad de genes de resistencia. Algunas de las familias presentaron severidades altas de 50% a 70%; esto indicó que los progenitores tienen al menos un gen en común, los otros genes adicionales a ellos fueron diferentes. En las cruces de 'Simorgh' y 'Homa' con 'Parastoo', se observó menos segregación en cuanto a la severidad en las generaciones F₂ y F₅, indicando que quizás estos progenitores tuvieron dos genes aditivos en común.

Se evaluaron las generaciones F₂ de cruces entre tres trigos sintéticos hexaploides, 'SH1', 'SH3' y 'SH4', considerados como resistentes ante el ataque de roya de la hoja. Las cruces entre 'SH1' * 'SH3' y 'SH3' * 'SH4', segregaron en una relación 15 resistentes: 1 susceptible; determinando así la presencia de dos genes dominantes independientes, controlando la resistencia en cada cruce, confirmando con ello la presencia de un gen simple dominante en los 'SH1',

The theory of similarity of resistance genes in resistant genotypes was proposed; in several works as in case of McKenzie *et al.* (1965), they concluded that crosses between the progenitors 'Rosen's Mutant' * 'C. I. 6829' have the same gene 'H' that confers resistance to breed 6AF of stem rust, this when observing that the 33 families F₃ were resistant. Also, it was observed in cross 'Ukraine' * 'C. I. 6829' where the 25 families F₃ were resistant to breed 6AF in seedling state. Seemingly the genotype 'Ukraine' also had the same gene 'H' of resistance.

Singh and McIntosh (1984) in crosses between resistant wheat progenitors 'Gatcher', 'Timgalen' and 'SUN27A', found that inside the progenie of seedlings F₂ there were no susceptible homozygous seedlings, since only there were seedlings with phenotypes located inside the range shown by its respective resistant progenitors. These results provided genetic evidence that these three progenitors share the same one or the same resistance genes.

Navabi *et al.* (2003) evaluated F₅ families of intercrosses between the resistant progenitors 'Saar', 'Simorgh', 'Homa', 'Parastoo' and 'Cocnoos', to study the similaridad of resistance genes. Some of the families presented high severities of 50% to 70%; this indicated that the progenitors have at least a gene in common, the other additional genes to them were different. In crosses 'Simorgh' and 'Homa' with 'Parastoo', less segregation was observed as for the severity in the generations F₂ and F₅, indicating that maybe these progenitors had two additive genes in common.

The generations F₂ were evaluated of crosses between three hexaploid synthetic wheats, 'SH1', 'SH3' and 'SH4', considered as resistant to the attack of leaf rust. Crosses between 'SH1' * 'SH3' and 'SH3' * 'SH4', did segregate in a rate 15 resistant: 1 susceptible; determining this way the presence of two independent dominant genes, controlling the resistance in each cross, confirming the presence of a dominant simple gene in 'SH1', '3' and '4'. Nevertheless in evaluation of generation F₂ of cross 'SH1' * 'SH4', were made two evaluations and there was no segregation of resistance, which would indicate that 'SH1' and 'SH4' does present the same gene (Aguilar *et al.*, 2000).

The aim of this study was to determine the similarity and the number of resistance genes in mature plant and seedlings in families F₃ of crosses between six oat progenitors, moderately resistant to stem rust. The hypothesis that these parents share a gene in common that it confers them resistance to stem rust is proposed.

'3' y '4'. No obstante, que en la evaluación de la generación F₂ de la cruce 'SH1'*'SH4', se hicieron dos evaluaciones y no hubo segregación de la resistencia, lo cual indicaría que 'SH1' y 'SH4' presenta el mismo gen (Aguilar *et al.*, 2000).

El objetivo de este estudio, fue determinar la similitud y el número de genes de resistencia en planta adulta y plántula en familias F₃ de cruces entre seis progenitores de avena, moderadamente resistentes a roya del tallo. Se propone como hipótesis que estos progenitores comparten un gen en común que les confiere resistencia a roya del tallo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cruzamientos

Las cruces se hicieron en el invernadero del Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) del INIFAP; durante el ciclo primavera-verano de 2006 (Cuadro 1). Se realizaron tres cruces entre los genotipos Prog.15, Prog.19, Prog.23, Prog.26, Prog.28 y Prog.40, originando las cruces Prog.15*Prog.40, Prog.19*Prog.26 y Prog.28*Prog.23. Las cruces se hicieron emasculando a Prog.15, Prog.19 y Prog.28 que se polinizaron con Prog.40, Prog.26 y Prog.23, respectivamente. Se realizó la emasculación de espiga por planta en tres plantas por cruce.

MATERIALS AND METHODS

Crosses

The crosses were made in the greenhouse of Experimental Station Valle de México (CEVAMEX) of the INIFAP; during 2006 spring-summer cycle (Table 1). There were done three you crosses between genotypes Prog.15, Prog.19, Prog.23, Prog.26, Prog.28 and Prog.40, originating crosses Prog.15*Prog.40, Prog.19*Prog.26 and Prog.28*Prog.23. Crosses were made with emasculation to Prog.15, Prog.19 and Prog.28 that were pollinated with Prog.40, Prog.26 and Prog.23, respectively. Emasculation of a spike per plant was made in three plants per cross.

Obtaining of generations F₁, of segregant generations F₂ and families of generations F₃

In 2007 spring-summer cycle, harvested seeds F₁ of two selected spikes of each cross, were sown in polystyrene glasses and were kept in greenhouse at CEVAMEX, INIFAP. When seedlings reached 30 days of age, 50 seedlings were transplanted in field to plots with furrows of 1 m length, with 0.3 m of separation, being harvested of each cross at random three plants obtaining 150 seeds per cross (50 seeds per plant), which gave origin to generation F₂; the remaining seeds stayed for reservation.

Cuadro 1. Cruza e historia de selección de los progenitores de avena utilizadas en el estudio.

Table 1. Cross and history of selection of oat parents used in the study.

Progenitores	Cruza e historia de selección
Prog.15	PMG-/3/83-109(5-0C)8C-0C/KARMA I-4373-0C-2CE-1RE-4C-0R
Prog.19	PMG-81/81-65(7-0C)11C-0C/F2-CV-83(5-0C)7C-0C I-4496-0R-23C-1C-0R
Prog.23	(815A-129-72-C1-648/SR-CPX)2/3/BLEND//KARMA I-4538-0C-5C-0R-0C-1C-0R
Prog.26	HUA"SS"/ZAFIRO/4/OBSIDIANA I-4514-0C-0C-0R-4C-0R
Prog.28	PMG-83/83-109(5-0C)8C-0C/KARMA I-4373-0C-2CE-1RE-5C-0R
Prog.40	BLEND//PMG-83/83-109(7-0C)-7C-0C/3/OBSIDIANA I-4516-0C-2C-0R-0C-1C-0R
Chihuahua	AB-177*PUTMAN 61 I-15-11C-1R-2C
Ópalo	CI-7399 (Bond*Rainbow 2*Hajira*Joanette 3)*Landhafer 4*Andrew3

Obtención de generaciones F₁, de generaciones segregantes F₂ y familias de las generaciones F₃

En el ciclo primavera-verano 2007, las semillas F₁ cosechadas de dos espigas seleccionadas de cada cruce, se sembraron en vasos de unisel y se mantuvieron en el invernadero del CEVAMEX, INIFAP. Cuando las plántulas alcanzaron 30 días de edad, se trasplantaron en campo 50 plántulas en el vivero de cruzamientos en parcelas con surcos de 1 m de largo por 0.3 m de separación, cosechándose de cada cruce tres plantas al azar obteniéndose 150 semillas por cruce (50 semillas por planta), las cuales dieron origen a la generación F₂; las semillas restantes se guardaron de reserva.

Las 150 semillas F₂ de cada cruce se sembraron en el Centro de Investigación Regional Centro (CIRCE), Roque, Guanajuato, en el ciclo otoño-invierno 2007-2008, en parcelas de tres surcos (50 semillas por surco) de 4 m*0.3 m. De cada surco por parcela se cosecharon 50 plantas al azar que dieron origen a 50 familias F₃ (toda la semilla cosechada de cada planta dió origen a una familia), en total fueron 150 familias por cruce, cada una en sobre individual.

Aislamiento del patógeno

El aislamiento del patógeno utilizado en el estudio, se colectó en Tepatitlán, Jalisco, en el verano de 1999; la variedad Rarámuri y designado como PgaMex99.13. Este aislamiento se incrementó en la variedad Ópalo y las esporas colectadas se mantuvieron en cápsulas a -55 °C en un congelador, hasta que fueron usadas en campo e invernadero, este aislamiento es virulento en las variedades Ópalo y Chihuahua (Mariscal *et al.*, 2009). El aislamiento PgaMex99.13 es una variante de la raza NA32 (Fetch y Jin, 2007) pero con avirulencia a Pg15 y virulencia a Pg16. Su fórmula de avirulencia-virulencia es 1, 8, 15, a/2, 3, 4, 9, 13, 16.

Para la rehidratación del aislamiento, las cápsulas con las urediniosporas colectadas se sacaron del congelador y se proporcionó un shock térmico con agua a 60 °C durante siete minutos, posteriormente se extrajeron y pusieron en una caja petri dentro de una cámara húmeda por un periodo de cuatro horas. Pasado este tiempo las esporas estuvieron listas para ser utilizadas en sus respectivos tratamientos a futuro.

The 150 F₂ seeds of each cross were sown in Centro de Investigación Regional Centro (CIRCE), Roque, Guanajuato, in the autumn-winter 2007-2008 cycle, in three furrows plots (50 seeds per furrow) of 4 m*0.3 m. Of each furrow per plot 50 plants were harvested at random that they gave origin to 50 families F₃ (every harvested seed of each plant gave origin to a family), in total they were 150 families per cross, each one on individual envelope.

Pathogen isolation

The pathogen isolation used in the study, was collected in Tepatitlán, Jalisco, in the summer of 1999; the variety Rarámuri and designated as PgaMex99.13. This isolation was increased in variety Opalo and the collected spores stayed in capsules at -55 °C in a freezer, until they were used in field and greenhouse, this isolation is virulent in the varieties Opalo and Chihuahua (Mariscal *et al.*, 2009). The isolation PgaMex99.13 is a variant of the breed NA32 (Fetch and Jin, 2007) but with avirulence to Pg15 and virulence to Pg16. Its formula of avirulence-virulence is 1, 8, 15, a/2, 3, 4, 9, 13, 16.

For rehydration of isolation, the capsules with the collected urediniospores were taken out of the freezer and a thermal shock was provided with water at 60 °C during seven minutes, later they were taken out and put in a petri box inside a humid camera for four hours. After this time spores were ready to be used.

Evaluation in adult plant

In the cycle spring-summer 2008 in CEVAMEX, INIFAP, 132, 149 and 100 families F₃ was sown of cross Prog.15*Prog.40, Prog.19*Prog.26 and Prog.28*Prog.23, respectively. The plots for study were formed of a double furrow of 1 m of long by 0.3 m separation, where the seed of each family was distributed. Four plots were also sown, two with the parents and two with the control varieties Chihuahua and Opalo at beginning of each F₃ population. In the borders and among the streets of the experiment seeds of the susceptible variety Chihuahua were sown, which acted as inoculum source and dispersing of the same one.

An artificial epiphyte was set 28 days after planting (dds), by means of inoculation of fresh spores of isolation mentioned previously (concentration 1*10⁶ spores ml⁻¹ in mineral oil Soltrol®) in the borders and in the streets of the experiment,

Evaluación en planta adulta

En el ciclo primavera-verano 2008 en el CEVAMEX, INIFAP, se sembraron 132, 149 y 100 familias F_3 de las cruzas Prog.15*Prog.40, Prog.19*Prog.26 y Prog.28*Prog.23 respectivamente. Las parcelas de estudio estuvieron formadas de un surco doble de 1 m de largo por 0.3 m separación, donde se distribuyó la semilla de cada familia. Además se sembraron cuatro parcelas, dos con los progenitores y dos con las variedades testigo Chihuahua y Ópalo al inicio de cada población F_3 . En los bordos y entre las calles del experimento se sembraron semillas de la variedad susceptible Chihuahua, la cual actuó como fuente de inóculo y dispersante del mismo.

Se estableció una epifitía artificial 28 días después de la siembra (dds), mediante la inoculación de esporas frescas del aislamiento mencionado anteriormente (concentración 1×10^6 esporas ml^{-1} en aceite mineral Soltrol[®]) en los bordos y en las calles del experimento, siete días después se inocularon todas las familias y 10 días después fue la última inoculación general para asegurar el establecimiento de la enfermedad.

Toma de datos

Se realizó 20 días después de la última inoculación, cuando se observaron las primeras infecciones en los progenitores y el 100% de infecciones en las variedades testigo (Chihuahua y Ópalo). Las familias se clasificaron en dos categorías debido a la ausencia o presencia de pústulas en las plantas de cada familia.

Familias resistentes. Plantas de familias homocigóticas con una infección en el tallo similar al progenitor resistente, de 0% de infección, totalmente resistente (OR), hasta 20% de infección, moderadamente resistente (20MR).

Familias susceptibles. Plantas de familias homocigóticas con una infección mayor a 60%, moderadamente susceptible (60MS).

Evaluación en plántula

Este experimento se llevó a cabo en el ciclo otoño-invierno 2009-2010, en los invernaderos del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), El Batán, México. Se sembraron 117, 131 y 88 familias F_3 de las cruzas

seven days after all the families were inoculated and 10 days later it was the last general inoculation to assure the establishment of disease.

Data taking

It was carried out 20 days after the last inoculation, when the first infections were observed in the parents and 100% of infections in the control varieties (Chihuahua and Opalo). The families were classified in two categories due to the absence or presence of pocks in the plants of each family.

Resistant families. Plants of homozygous families with a stem infection similar to resistant parent, of 0% infection, completely resistant (OR), up to 20% infection, moderately resistant (20MR).

Susceptible families. Plants of homozygous families with a bigger infection to 60%, moderately susceptible (60MS).

Evaluation in seedling

This experiment was carried out in autumn-winter 2009-2010 cycle, in the greenhouses of Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), El Batán, México. 117, 131 and 88 families F_3 were sown of crosses Prog.15*Prog.40, Prog.19*Prog.26 and Prog.28*Prog.23, respectively. The planting was carried out in 14 plastic trays with holes (20*30*5 cm), it was added a prepared mix of soil and peat moss (60 and 40% respectively) leaving a centimeter of border, the soil was matched and lightly compressed, later water was added until soil was completely humid. With a metal press of 48 picks 48 perforations were marked in each tray being eight rows with six perforations each one.

In each perforation 10 seeds of each family were placed, leaving a free row and continued sowing, in such way that three rows in each tray were sown, to allow a good air and development of seedlings. To trays were only added a small quantity of soil to cover perforations and water was added to humidify it; at the end of the planting there were 14 trays with 336 families. Following the same methodology, another tray was sowed with six more parents and two varieties (Chihuahua and Opalo) as susceptible control. These trays stayed in greenhouse at a temperature of 20 °C during night and 23 °C during day. Fourteen days after the planting the inoculation was made.

Prog.15*Prog.40, Prog.19*Prog.26 y Prog.28*Prog.23, respectivamente. La siembra se realizó en 14 charolas de plástico perforadas (20*30*5 cm), se agregó una mezcla preparada de tierra y peat moss (60 y 40% respectivamente) dejando un centímetro del borde, la tierra se emparejó y comprimió ligeramente, posteriormente se agregó agua hasta que la tierra estuvo totalmente húmeda. Con una prensa de metal construida de 48 picos se marcaron 48 perforaciones en cada charola quedando ocho hileras con seis perforaciones cada una.

En cada perforación se colocaron 10 semillas de cada familia, se dejó una hilera libre y se continuó sembrando, de tal forma que en cada charola se sembró tres hileras, para permitir una buena aireación y desarrollo de las plántulas. A las charolas se les agregó una pequeña cantidad de tierra sólo para tapar las perforaciones y se agregó agua para humedecerla; al final de la siembra se tenían las 14 charolas con las 336 familias. Siguiendo la misma metodología, se sembró otra charola con los seis progenitores más las dos variedades (Chihuahua y Ópalo) como testigos susceptibles. Estas charolas se mantuvieron en el invernadero a una temperatura de 20 °C noche y 23 °C día. Catorce días después de la siembra se hizo la inoculación.

Inoculación de las familias

Las familias de las charolas se inocularon mediante boquillas aspersoras, con el mismo aislamiento del hongo suspendiendo de urediniosporas frescas en aceite mineral Soltrol®, en la misma concentración utilizada en el estudio de planta adulta. Las charolas se etiquetaron y se dejaron secar hasta que el aceite se evaporara, posteriormente se metieron en cámara de rocío por 9 h y 3 h de luz; se mantuvieron en invernadero a 20 °C durante la noche y 23 °C durante el día.

Toma de datos

Catorce días después de la inoculación, cuando hubo presencia de pústulas en los dos progenitores y niveles de 100% de infección en las dos variedades testigo susceptibles, se tomaron los datos clasificando las familias en las mismas dos categorías como se hizo en planta adulta.

Análisis de datos y pruebas estadísticas

Las frecuencias esperadas de las familias F_3 en planta adulta y plántula, es bajo el supuesto que la resistencia es condicionada por uno o dos genes mayores; utilizándose, las

Inoculation of the families

The families of the chtrays were inoculated by means of spray nozzles, with the same isolation of the fungi suspending of fresh urediniospores in mineral oil Soltrol®, in the same concentration used in the study of adult plant. The trays were labeled and allowed to dry off until oil evaporated, later they entered in dew camera for 9 h and 3 h of light; they stayed in greenhouse at 20 °C during night and 23 °C during day.

Data taking

Fourteen days after inoculation, when there was presence of pocks in two progenitors and levels of 100% infection in two susceptible control varieties, data was taken classifying families in the same two categories as it was made in adult plant.

Analysis of data and statistical tests

The prospective frequencies of families F_3 in adult plant and seedling, is under assumption that resistance is conditioned by one or two bigger genes; using the frequencies of homozygous susceptible families to determine the number of resistance genes, based on proportion 13:3 (resistant:susceptible) for a dominant gene and one recessive and 63:1 for three dominant genes (Gardner *et al.*, 1998).

It was intended to make χ^2 tests with the observed and prospective frequencies (Infante and Zárate de Lara, 1990); however, for the reasons that are mentioned in the results it was not possible to make these tests in none of the two studies.

RESULTS AND DISCUSSION

In Table 2 the infection percentage reached by the progenitors and control varieties in seedling susceptible to the isolation PgaMex99.13 is shown. It can be observed that evidently, the parents moderately resistant although presented certain grade of severity, this it was not high; these high levels of resistance, it maybe due these resistant genotypes had parents with good resistance levels (Table 1); for example, the progenitor 15, 23 and 28 with Karma or the progenitor 26 and 40 with Obsidiana in common as one of their parents, respectively.

frecuencias de las familias homocigóticas susceptibles para determinar el número de genes de resistencia, basándose en la proporción 13:3 (resistentes: susceptibles) para un gen dominante y uno recesivo y 63:1 para tres genes dominantes (Gardner *et al.*, 1998).

Se pretendió hacer pruebas de χ^2 con las frecuencias observadas y esperadas (Infante y Zárate de Lara, 1990); sin embargo, por las razones que se mencionan en los resultados no fue posible hacer estas pruebas en ninguno de los dos estudios.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se muestra el porcentaje de infección alcanzado por los progenitores y las variedades testigos susceptibles en plántula al aislamiento PgaMex99.13. Se puede observar que evidentemente, los progenitores moderadamente resistentes aunque presentaron cierto grado de severidad este no fue alto; estos niveles altos de resistencia, quizá se deba que estos genotipos resistentes tuvieron padres con buenos niveles de resistencia (Cuadro 1); por ejemplo, el progenitor 15, 23 y 28 con Karma o el progenitor 26 y 40 con Obsidiana en común como uno de sus padres, respectivamente.

Karma y Obsidiana en su momento fueron liberadas por sus altos niveles de resistencia; Karma ante el aislamiento PgaMex99.13, tuvo un nivel de severidad de 1-5% según Mariscal *et al.* (2009), nivel semejante a los progenitores que formó parte como uno de sus padres. Se concluye, que los genes de resistencia de cinco de los seis genotipos utilizados en este estudio probablemente provienen de Karma y Obsidiana.

Se menciona que Karma, Obsidiana, Zafiro y Blenda, padres de cinco de los progenitores moderadamente resistentes evaluados en este estudio (Cuadro 1), tienen a su vez a el genotipo Diamante en común como uno de sus padres, la variedad Diamante es considerada como la principal fuente de genes de resistencia contra la roya del tallo (Márquez, 2007).

Las variedades Chihuahua y Ópalo como testigos susceptibles, presentaron niveles de infección ante aislamientos iguales a los observados por Mariscal *et al.* (2009). Estos niveles altos de severidad al ser observados ayudaron para el inicio de la toma de datos en las familias.

Cuadro 2. Porcentaje de infección de seis progenitores de avena y dos variedades testigo.

Table 2. Percentage of infection in six oat parents and two control varieties.

Progenitor	Respuesta
Prog.15	5-10% de infección
Prog.19	0-5%
Prog.23	0-5%
Prog.26	0-5%
Prog.28	0-5%
Prog.40	0-5%
Chihuahua	100%
Ópalo	90%

Karma and Obsidiana were released by their high resistance levels; Karma to the isolation PgaMex99.13, had a level of severity of 1-5% according to Mariscal *et al.* (2009), similar level to parents that were part as one of their parents. It is concluded that genes of resistance of five out of six genotypes used in this study probably come from Karma and Obsidiana.

It is important to mention that Karma, Obsidiana, Zafiro and Blenda, parents of five of the progenitors moderately resistant evaluated in this study (Table 1), they have in common to genotype Diamante as one of their parents, the variety Diamante is considered as the main source of resistance genes against stem rust (Márquez, 2007).

The varieties Chihuahua and Opalo as susceptible control, presented infection levels before isolations similar to those observed by Mariscal *et al.* (2009). These high levels of severity when being observed helped for the beginning of data taking in the families.

Analysis of segregations in state of adult plant

In the study of adult plant, families were moderately resistant and a great quantity were susceptible, being observed different infection levels some reached up to 100%. In this case, it would be expected an infection level similar to which was presented in the seedling study in greenhouse, at same or smaller levels to 5%; therefore, it is concluded that the presence of infection levels so high in field, indicated that one or more different breeds to inoculated isolation PgaMex99.13, were impacting at the moment to take data.

Análisis de las segregaciones en estado de planta adulta

En el estudio de la planta adulta, se presentaron familias moderadamente resistentes y una gran cantidad de susceptibles, observándose diferentes niveles de infección algunos alcanzaron hasta 100%. En este caso, se esperaría un nivel de infección igual al que se presentó en el estudio de plántula en invernadero, a niveles iguales o menores a 5%; por lo tanto, se concluyó que la presencia de niveles de infección tan altos en campo, indicó que una o más razas diferentes al aislamiento inoculado PgaMex99.13, estuvieron incidiendo al momento de tomar los datos.

Al parecer el gen de resistencia en común que comparten los progenitores y que se observó en estado de plántula, no fue efectivo en las familias que estuvieron en campo, por lo cual se presentó un gran número de familias susceptibles con elevados niveles de infección. La presencia de razas diferentes al aislamiento inoculado, no permitió un ajuste de las familias a las frecuencias esperadas, por ésta razón no se determinó el número de genes de resistencia involucrados.

La presencia de familias susceptibles, indican el gen de resistencia que los progenitores comparten no fue efectivo en campo; la presencia de familias resistentes, indican los otros genes de resistencia que estos progenitores tienen en ese momento y se expresaron mostrando diferentes niveles de resistencia a las demás razas que incidieron.

Segregaciones en las familias en estado de plántula

En las familias de las tres cruzas evaluadas en estado de plántula Prog.15*Prog.49, Prog.19*Prog.26 y Prog.28*Prog.23, no se encontraron familias susceptibles o con niveles de severidad altos como Ópalo o Chihuahua; sólo alcanzaron niveles de infección iguales o ligeramente menores a sus progenitores (0-5%). La ausencia de familias susceptibles en las tres cruzas, indicó que en estos seis progenitores existe un gen en común, que confiere resistencia al aislamiento PgaMex99.13 en condiciones controladas de invernadero. Aunque se desconoce el origen de este gen, se prueba la hipótesis planteada.

De igual manera, la ausencia de familias susceptibles, no permitió que hubiera un ajuste a las frecuencias esperadas; por lo tanto, tampoco se pudo determinar el número de genes de resistencia involucrados. Estos datos coinciden con Adhikari *et al.* (1999), en donde menciona que al hacer la cruce entre la variedad Omega con 15 líneas resistentes

It seems that resistance gene in common that the parents share and that it was observed in seedling state, it was not effective in the families that were in field, reason why a great number of susceptible families was shown with high infection levels. The presence of breeds different to inoculated isolation, didn't allow an adjustment of the families from the prospective frequencies, by this reason the number of involved resistance genes was not determined.

The presence of susceptible families, indicate the resistance gene that the progenitors share it was not effective in field; the presence of resistant families, indicate the other resistance genes that these progenitors have in that moment and they were expressed showing different resistance levels to the other breeds that impacted.

Segregations in the families in seedling state

In the families of three crosses evaluated in seedling state Prog.15*Prog.49, Prog.19*Prog.26 and Prog.28*Prog.23, were not totally susceptible families or with high levels of severity as Opalo or Chihuahua; they only reached same or lightly smaller infection levels to their parents (0-5%). The absence of susceptible families in three crosses, indicated that in these six parents a gene exists in common that confers resistance to the isolation PgaMex99.13 under controlled conditions of greenhouse. Although it is unknown the origin of this gene, the outlined hypothesis is proven.

In a same way, the absence of susceptible families, didn't allow that there were an adjustment to the prospective frequencies; therefore, it could not be determined the number of involved resistance genes. These data coincide with Adhikari *et al.* (1999) where mention that when making the cross between the variety Omega with 15 resistant lines of oat, to observe if these genotypes had genes in common, found that all plants F₁ were resistant and F₂ populations didn't segregate, giving similar resistant reactions to their parents.

In seedlings F₂ that were transplanted in field, they behaved as resistant; since Omega possesses the gene Pga and there was not a susceptible segregation in none of their crosses; in such a way that Adhikari *et al.* (1999) it also concluded that the lines had the same gene or if there were different genes that could be involved, these should be allelic; besides this author, other as Mu Murphy *et al.* (1958); McKenzie *et al.* (1965 and 1970); Singh and McIntosh (1984); Aguilar *et al.* (2000), obtained similar conclusions.

de avena, para observar si estos genotipos poseían genes en común, encontró que todas las plantas F_1 fueron resistentes y la F_2 las poblaciones no segregaron, dando reacciones resistentes similares a sus progenitores.

En plántulas F_2 que fueron trasplantadas en campo, todas estas se comportaron como resistentes a la roya del tallo; puesto que Omega posee el gen Pga y no hubo una segregación susceptible en ninguna de las cruces; de tal manera, que Adhikari *et al.* (1999) concluyó también que las líneas tenían el mismo gen o si había genes diferentes que pudieran estar involucrados, estos debieron ser alélicos; además de este autor, autores como Murphy *et al.* (1958); McKenzie *et al.* (1965 y 1970); Singh y McIntosh (1984); Aguilar *et al.* (2000), obtuvieron conclusiones similares.

De acuerdo con la fórmula de avirulencia-virulencia del aislamiento probado PgaMEX99.13 que es: 1, 8, 15, a/2, 3, 4, 9, 13, 16; los progenitores moderadamente resistentes, podrían compartir alguno de los genes de resistencia Pg1, Pg8, Pg15 o Pga; para los cuales el aislamiento del hongo es avirulento.

Respecto a la presencia de otras razas de roya del tallo, es importante mencionar que la siembra de las familias F_3 en campo, se hizo en el mes de junio, a partir de este mes se observó en los campos del CEVAMEX, INIFAP; la incidencia de royas tanto de la hoja como del tallo en avena, ésta ha sido constante durante años aún sin inducir epifitias; por tanto, la presencia de urediniosporas año tras año es inminente.

La presencia de las primeras infecciones por *Puccinia graminis* f. sp. *Avenae* de forma natural en estos campos, se ha presentado y observado por el mes de agosto; de tal modo, que hubo mucha oportunidad que otras razas de roya del tallo se establecieran en el experimento, cuando las plantas tenían una etapa de desarrollo adecuada para el establecimiento de las primeras urediniosporas (Villaseñor, 2006).

En un estudio realizado con siete variedades de avena como diferenciales, se observó que en algunas regiones productoras de avena de Puebla, Oaxaca, Aguascalientes, Durango, Hidalgo y Zacatecas, al menos inciden 24 razas distintas de roya del tallo, algunas de las cuales probablemente también incidan en los campos del CEVAMEX, INIFAP.

In accordance with the formula of avirulence-virulence of the proven isolation PgaMEX99.13 that is: 1, 8, 15, a/2, 3, 4, 9, 13, 16; the progenitors moderately resistant, they could be sharing some of the resistance genes Pg1, Pg8, Pg15 or Pga; for which the isolation of the fungi is avirulent.

Regarding the presence of other types of stem rust, it is important to mention that the sow of families F_3 in field, was made in the month of June, starting from this month it was observed in fields of CEVAMEX, INIFAP; the incidence of leaf rust as good as stem rust in oat, this has been constant during years even without inducing epiphytes; therefore, the urediniospores presence year after year is imminent.

The presence of first infections by *Puccinia graminis* f. sp. *Avenae* in a natural way in these fields, was in August; there was opportunity that other types of stem rust of set in the experiment, when the plants had a development stage adapted for the first urediniospores (Villaseñor, 2006).

In a study carried out with seven varieties of oat as differential, it was observed that in some oat producing region of Puebla, Oaxaca, Aguascalientes, Durango, Hidalgo and Zacatecas, at least 24 races different types of stem rust impact, some of which probably also impact in the fields of CEVAMEX, INIFAP.

CONCLUSIONS

With observations made in seedlings of three crosses in greenhouse, the parents 15, 19, 23, 26, 28 and 40, have a gene in common that confers them resistance to stem rust isolation PgaMex99.13, being proven this way the outlined hypothesis.

In accordance with the formula of avirulence-virulence of the isolation, the gene in common that the progenitors share it can be: Pg1, Pg8, Pg15 or Pga.

This gene in common was not effective against the types that impacted when families F_3 of its respective crosses were in field.

These genotypes can be useful for later crosses programs, for oat genetic improvement, because have a resistance gene or genes against stem rust.

CONCLUSIONES

Con observaciones hechas en plántulas de tres cruzas en invernadero, los progenitores 15, 19, 23, 26, 28 y 40, poseen un gen común que confieren resistencia al aislamiento de roya del tallo PgaMex99.13, probándose la hipótesis planteada.

De acuerdo con la fórmula de avirulencia-virulencia del aislamiento, el gen en común que comparten los progenitores puede ser: Pg1, Pg8, Pg15 o Pga.

Este gen en común no fue efectivo contra las razas que incidieron cuando las familias F₃ de sus respectivas cruzas estuvieron en campo.

Estos genotipos pueden ser útiles para posteriores programas de cruzas, para el mejoramiento genético de avena, por poseer un gen o genes de resistencia contra roya del tallo.

Se hace evidente que en los campos del CEVAMEX, INIFAP, están incidiendo varias razas de roya del tallo; por lo tanto, es necesario hacer un estudio para su identificación.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por el CEVAMEX-INIFAP, proyecto fiscal "Mejoramiento genético y liberación de variedades de avena para la producción de forraje y grano en México".

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.
- Aguilar, R. V. H.; Singh, P. R.; Molina, G. J. D. y Huerta, E. J. 2000. Herencia de la resistencia a la roya de la hoja en cuatro trigos sintéticos hexaploides. *Agrociencia*. 34:235-246.
- Artie, J. B. and Frey, K. J. 1959. The inheritance of new sources of oat stem rust resistance. *Plant Dis. Reporter. USA*. 43(7):768-771.
- Browning, J. F. and Frey, K. J. 1959. The inheritance of new sources of oat stem rust resistance. *Plant Dis. Reporter. USA*. 43(7):768-771.

It becomes evident that in fields of CEVAMEX, INIFAP, are impacting several types of stem rust; therefore, is necessary to make a study for their identification.

End of the English version



- Dick, P. L. 1966. Inheritance of stem rust resistance and other characteristics in diploid oats, *Avena strigosa*. *Can. J. Genet. Cytol.* 8:444-450.
- Epstein, A. H.; Simons, M. D.; Frey, K. J. and Rothman, P. G. 1988. Field resistance of oats to *Puccinia graminis* f. sp. *avenae* measured via yield and seed weight reduction. *Plant Dis.* 72(2):154-156.
- Fetch Jr., T. G. and Jin, Y. 2007. Letter code system of nomenclature for *Puccinia graminis* f. sp. *avenae*. *Plant Dis.* 91:763-766.
- Gardner, E. J.; Simons, M. J. y Snustad, D. P. 1998. Principios de genética. Primera edición. Limusa Wiley. D. F., México. 149 p.
- Gold, S. J.; Fetch, J. M. and Fetch, T. G. 2005. Evaluation of *Avena* spp. accessions for resistance to oat stem rust. *Plant Dis.* 89:521-525.
- Harder, D. E. 1999. Usefulness of gene Pg10 as a source of stem rust resistance in oat breeding. *Phytopathol.* 89:1214-1217.
- Infante, G. S. y Zárate de Lara, G. P. 1990. Métodos estadísticos: un enfoque interdisciplinario. Segunda Edición. Trillas. D. F., México. 643 p.
- Leyva, M. S. G.; Espitia, R. E.; Villaseñor, M. H. E. y Espino, J. H. 2004. Pérdidas ocasionadas por *Puccinia graminis* f. sp. *avenae* Ericks. y Henn., causante de la roya del tallo en seis cultivares de avena (*Avena sativa* L.) en Valles Altos de México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 22:166-171.
- Márquez, G. C. 2007. Colaborador del Programa de Mejoramiento Genético de Avena del INIFAP. Comunicación personal. INIFAP. México.
- Mariscal, A. L. A.; Huerta, E. J.; Villaseñor, M. H. E.; Leyva, M. S. G.; Sandoval, I. J. S. y Benítez, R. I. 2009. Genética de la resistencia a roya del tallo (*Puccinia graminis* f. sp. *avenae* Erikss. & Henning) en tres genotipos de avena. *Agrociencia*. 43:869-879.
- 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.

- McKenzie, R. I. H.; Martens, J. W. and Rajhathy, T. 1970. Inheritance of stem rust resistance in a Tunisian strain of *Avena sterilis*. *Can. J. Genet. Cytol.* 12:501-505.
- Murphy, H. C.; Zillinsky, F. J.; Simons, M. D. and Grindeland, R. 1958. Inheritance of seed color and resistance to races of stem and crown rust in *Avena strigosa*. *Agron. J.* 50:539-541.
- Navabi, A.; Singh, R. P.; Tewari, J. P. and Briggs, K. G. 2003. Genetic analysis of adult plant resistance to leaf rust in five spring wheat genotypes. *Plant Dis.* 87:1522-1529.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2009. Anuario estadístico de la producción agrícola 2008. URL: <http://www.siap.gob.mx>.
- Singh, R. P. and McIntosh, R. A. 1984. Complementary genes for reaction to *Puccinia recondita tritici* in *Triticum aestivum*. I. Genetic and linkage studies. *Can. J. Genet. Cytol.* 26:723-735.
- Villaseñor, M. H. E. 2006. Líder nacional del programa de mejoramiento de trigo y avena del INIFAP. Comunicación personal. INIFAP. Texcoco, Estado de México.
- Villaseñor, M. H. E.; Espitia, R. E. and Márquez, G. C. 2001. Registration of "CEVAMEX" oat. *Crop Sci.* 41(1):266-267.
- Welsh, J. N.; Green, G. J. and McKenzie, I. H. 1961. New genes for resistance to races of oat stem rust. *Can. J. Bot.* 39:513-518.