

SELECCIÓN DE GENOTIPOS DE AVENA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE RAZAS DE ROYA DEL TALLO*

SELECTION OF OAT GENOTYPES FOR THE IDENTIFICATION OF STEM RUST RACES

Luis Antonio Mariscal Amaro^{1§}, Julio Huerta Espino¹, Héctor Eduardo Villaseñor Mir¹, Santos Gerardo Leyva Mir², José Sergio Sandoval Islas³ e Ignacio Benítez Riquelme³

¹Campo Experimental Valle de México. INIFAP. Carretera Los Reyes-Textcoco, km 13.5. Coatlinchán, Texcoco, Estado México. C. P. 56250. Tel. 01 595 9212657. (huerta.julio@inifap.gob.mx), (hevmir@yahoo.com.mx). ²Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Textcoco, km 38.5. Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. Tel. 01 595 9521500. Ext. 6179. (lsantos@correo.chapingo.mx). ³Colegio de Postgraduados. Carretera México-Textcoco, km 36.5. C. P. 56230. Montecillo, Estado de México. Tel. 01 595 9520229. Fax. 01 595 9520230. (sandoval@colpos.mx), (riquelme@colpos.mx). [§]Autor para correspondencia: lmariscal@colpos.mx.

RESUMEN

La identificación de razas fisiológicas de *Puccinia graminis* f. sp. *avenae* al usar diferenciales, es importante en los programas de mejoramiento genético de avena, para obtener genotipos resistentes a roya del tallo y conocer la evolución y dispersión regional del patógeno. En 2008-2009 en los invernaderos del CIMMYT, El Batán, México, se probaron 50 aislamientos monopustulares de *P. graminis* f. sp. *avenae* en 24 genotipos de avena (*Avena sativa* L.), con el objetivo de determinar la diversidad del patógeno en muestras recolectadas en seis estados de México y conocer si estos genotipos podían ser utilizados como plantas diferenciales. Los genotipos Avemex, Obsidiana, Papigochi, Diamante, Rarámuri, Chihuahua y el Progenitor 7, expresaron diferentes tipos de infección y se pueden usar como diferenciales para estudiar la diversidad del patógeno y la prevalencia de razas. Al usar estas diferenciales se encontraron 24 razas diferentes del patógeno. Esto permite concluir que existe gran variabilidad genética del hongo en las regiones muestreadas. Se observó que ante los aislamientos probados las variedades Agata, Avena desnuda, Menonita y Saia, mostraron el mayor nivel de resistencia; y los progenitores 11, 12 y 13, y las variedades 12, 14, 27,

ABSTRACT

Identification of physiological races of *Puccinia graminis* f. sp. *avenae* using differentials, is important in oat's genetic improvement programs, in order to obtain resistance to stem rust and learn about evolution and regional spread of the pathogen. In 2008-2009, in greenhouses of CIMMYT, El Batán, Mexico, 50 monopustule isolates of *P. graminis* f. sp. *avenae* were tested in 24 genotypes of oat (*Avena sativa* L.), in order to determine the pathogen diversity in samples collected in six states of Mexico and see if these genotypes could be used as differential plants. Genotypes Avemex, Obsidiana, Papigochi, Diamante, Raramuri, Chihuahua and Progenitor 7, expressed different types of infection and can be used as differentials to study pathogen diversity and races prevalence. Using these differentials, 24 different races of the pathogen were found. This leads to the conclusion that there is great genetic variability of the fungus in the sampled regions. Against isolates tested, it was noted that Agata, Avena desnuda, Menonita and Saia varieties, showed the highest resistance level and progenitors 11, 12 and 13 and varieties 12, 14, 27, 28, 36, 43 and 44 had good resistance level, so they can be used as progenitors in future crosses plans.

* Recibido: diciembre de 2010
Aceptado: agosto de 2011

28, 36, 43 y 44 tuvieron buen nivel de resistencia, por lo que pueden ser utilizados como progenitores en futuros planes de cruzamientos.

Palabras clave: *Puccinia graminis* f. sp. *avenae*, aislamientos monopustulares, diversidad genética.

En 1992, Stakman y Levine publicaron la primera clave para designar razas fisiológicas de la roya del tallo en trigo (*Triticum aestivum* L.), basada en 12 genotipos diferenciales a los cuales se anexaron 16 diferenciales más (Roelfs y Martens, 1988). A partir de este grupo de diferenciales se identificaron 120 razas (Huerta y Singh, 2000).

En avena la identificación de razas fisiológicas de *P. graminis* f. sp. *Avenae*, es importante en los programas de mejoramiento genético de este cereal (Roelfs y Martens, 1988) para: 1) proveer datos del comportamiento de los genotipos inoculados con aislamientos específicos, como base para producir variedades resistentes; 2) comprender el comportamiento de los genes que condicionan resistencia en el hospedante y su interacción con las virulencias del hongo; 3) proveer un método de análisis genético del hospedante y del patógeno; y 4) detectar nuevas razas potencialmente peligrosas y nuevos genotipos hospedantes. Además, los estudios de razas reflejan tendencias a largo plazo de las poblaciones del patógeno (Stewart y Roberts, 1970).

En avena ha sido difícil lograr el consenso para designar una sola nomenclatura de identificación y designación de razas fisiológicas de royas. La falta de uniformidad se debe a que: 1) distintas variedades se usan como un mismo diferencial; 2) los ambientes para identificar las razas son diferentes; y 3) los sistemas de designación de las razas también son diferentes. La confusión surge cuando se designan nuevas razas que fisiológicamente pueden ser las mismas a las ya clasificadas (Stewart y Roberts, 1970; Chong *et al.*, 2000). Desde que las primeras cuatro razas de *P. graminis* f. sp. *avenae* fueron descritas, la nomenclatura ha experimentado cambios menores y mayores, demostrando una interacción gen a gen entre el hospedante y el patógeno (Martens *et al.*, 1970; Ebesta *et al.*, 2000).

En 1923, Stakman y colaboradores identificaron las primeras razas de roya del tallo en avena con las diferenciales Victory, White Tartar y Monarch. Después en 1925, Bailey publicó una clave analítica para formas fisiológicas utilizando las variedades White Tartar, Richland y Joannette Strain. Posteriormente, con el paso de los años se incluyeron nuevas

Key words: *Puccinia graminis* f. sp. *avenae*, genetic diversity, monopustule isolates.

In 1992, Stakman and Levine published the first key for designating physiologic races of wheat stem rust (*Triticum aestivum* L.), based on 12 differential genotypes and then over 16 differentials were annexed (Roelfs and Martens, 1988). From this differential group 120 races were identified (Huerta and Singh, 2000).

In oats, the identification of physiological races of *P. graminis* f. sp. *Avenae*, is important in genetic improvement programs of this cereal (Roelfs and Martens, 1988), in order to: 1) to provide data on the behavior of genotypes inoculated with specific isolates, as a base to produce resistant varieties; 2) to understand the behavior of genes that condition host resistance and their interaction with fungus virulence; 3) to provide a genetic analysis method of host and pathogen; and 4) to detect new potentially dangerous races and new host genotypes. Furthermore, studies of races reflect long-term trends of the pathogen populations (Stewart and Roberts, 1970).

In oat, it has been difficult to reach a consensus to designate a single identification and designation nomenclature of physiologic races of rusts. The lack of uniformity is due to: 1) different varieties are used as the same differential; 2) different environments to identify races; and 3) designation systems of races are also different. Confusion arises when new races are designated and can be physiologically the same as those already classified (Stewart and Roberts, 1970; Chong *et al.*, 2000). Since the first four races of *P. graminis* f. sp. *avenae* were described, nomenclature has suffered minor and major changes, demonstrating a gene to gene interaction between host and pathogen (Martens *et al.*, 1970; Ebesta *et al.*, 2000).

In 1923, Stakman and colleagues identified the first races of oat stem rust with differentials Victory, White Tartar and Monarch. Then in 1925, Bailey published an analytical key to physiological forms using varieties White Tartar, Richland and Joannette Strain. Subsequently, over the years new differentials were included: Rodney, C.I.8111, C.I.5844 and Saia (Stewart and Roberts, 1970). With the races identification system described by Stewart and Roberts (1970), when seven differentials were used, 97 breeds were identified. Harder (1994) identified 74 races using 10 differentials and Fetch and Jin (2007), using 13 genotypes with genes Pg1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 15 and 16 and Pga, identified 67 races.

diferenciales: Rodney, C.I.8111, C.I.5844 y Saia (Stewart y Roberts, 1970). Con el sistema de identificación de razas descrito por Stewart y Roberts (1970) al usar siete diferenciales se identificaron 97 razas. Harder (1994) identificó 74 razas al utilizar 10 diferenciales y Fetch y Jin (2007) al usar 13 genotipos con los genes Pg1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 15 y 16 y Pga, identificaron 67 razas.

Actualmente en México no existe un sistema de nomenclatura de razas para roya del tallo, ni diferenciales propias previamente identificadas; ya que las diferenciales usadas en los sistemas de EE. UU. o Canadá no se adaptan a las condiciones del país y su multiplicación es difícil. La aceptación de hospedantes diferenciales con un solo gen para identificar razas fue inmediata por la utilidad en el mejoramiento de cultivares y en la comprensión de los cambios en la población del patógeno; sin embargo, algunas líneas con un solo gen son difíciles de cultivar en diferentes áreas del mundo por su falta de adaptación (Roelfs, 1985; Roelfs y Martens, 1988).

En la selección de cultivares diferenciales se considera que: 1) los genes tengan una reacción diferencial; 2) los hospedantes no sean afectados por temperatura, luz o densidad de inóculo; 3) haya suficiente semilla del genotipo para los ensayos, si hay poca semilla de una diferencial se puede usar como suplementaria; y 4) que tengan un sólo gen para que la virulencia del patógeno sea evaluada claramente (Roelfs y Martens, 1988).

Geográficamente, las áreas cultivadas con avena del norte de México, las Grandes Planicies de los Estados Unidos de América y las praderas del este de Canadá, constituyen una sola área epidemiológica de roya del tallo, y donde la población de *P. graminis* f. sp. *avenae* ha sido asexual y relativamente estable, y ha estado dominada desde 1963 por un sólo fenotipo virulento, la raza NA27 (Roelfs *et al.*, 1979; Roelfs *et al.*, 1983; Roelfs *et al.*, 1986; Roelfs *et al.*, 1989; Salmeron *et al.*, 1996); sin embargo, Villaseñor *et al.* (2007) y Villaseñor *et al.* (2005), menciona que en México al parecer inciden más de 10 razas distintas, que si son clasificadas pudieran ayudar a conocer la respuesta de los genotipos a estas razas y a determinar la duración en campo de las nuevas variedades.

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue probar diferentes aislamientos de *P. graminis* f. sp. *avenae* en 24 genotipos de avena, para conocer su nivel de resistencia, su reacción a la diversidad del hongo, su capacidad de adaptación y multiplicación e identificarlas como diferenciales.

Currently in Mexico there is not a nomenclature system for stem rust races, nor proper differentials previously identified; differentials used in the USA or Canada systems cannot be adapted to our country's conditions and its propagation is difficult. Acceptance of differential hosts with a single gene to identify races was immediate, due to the utility in crops improvement and in understanding changes in pathogen population; but some lines with a single gene are difficult to grow in different areas of the world for its lack of adaptation (Roelfs, 1985; Roelfs and Martens, 1988).

In the selection of differential cultivars, is taken into consideration: 1) that genes have a differential response; 2) hosts are not affected by temperature, light and inoculum density; 3) enough genotype's seed for trials, if there is little seed of a differential it can be used as supplementary; and 4) have a single gene for a clearly evaluation of pathogen virulence (Roelfs and Martens, 1988).

Geographically, areas planted with oats in northern Mexico, Great Plains of the United States of America and prairies of eastern Canada, are a single epidemiological area of stem rust; where *P. graminis* f. sp. *avenae* population has been asexual, relatively stable and since 1963 it has been dominated by a single virulent phenotype, race NA 27 (Roelfs *et al.*, 1979; Roelfs *et al.*, 1983; Roelfs *et al.*, 1986; Roelfs *et al.*, 1989; Salmeron *et al.*, 1996); however, Villaseñor *et al.* (2007) and Villaseñor *et al.* (2005), mentions that apparently Mexico is affected by more than 10 different races, if they were classified it could help to understand genotypes response to these races and to determine the length in field of new varieties.

Therefore, the aim of this paper was to test different isolates of *P. graminis* f. sp. *avenae* in 24 oats genotypes, to know their resistance level, their reaction to fungus diversity, its adaptability and multiplication and identify them as differentials.

***P. graminis* f. sp. *avenae* isolates**

Studied isolates of the fungus, came from collections made in oats grown fields in 2006, by the Oats Genetical Improvement Program of INIFAP-Valley of Mexico Experimental Station. The collections were made in Cuyuaco (1) and Mazapiltepec de Juárez (3), Puebla; San Juan Yucuita (3) and Oaxacan Mixteca Experimental Field (CEMOAX) (1), Oaxaca; Sandoval (6) and Pabellón de Arteaga (4), Aguascalientes; Valle de Guadiana (2),

Aislamientos de *P. graminis* f. sp. *avenae*

Los aislamientos del hongo estudiados provinieron de colectas hechas en campos cultivados de avena en 2006, por el Programa de Mejoramiento Genético de Avena del INIFAP-Campo Experimental Valle de México. Las colectas se hicieron en Cuyuaco (1) y Mazapiltepec de Juárez (3), Puebla; San Juan Yucuita (3) y Campo Experimental Mixteca Oaxaqueña (CEMOAX) (1), Oaxaca; Sandoval (6) y Pabellón de Arteaga (4), Aguascalientes; Valle de Guadiana (2), Durango; Francisco I. Madero (2), Hidalgo; y Campo Experimental Zacatecas (CEZAC) (3), Zacatecas. Las uredosporas de cada colecta se almacenaron en cápsulas de gelatina a -55 °C.

Manejo de los genotipos de avena

Los 24 genotipos proporcionados por el INIFAP-CEVAMEX fueron: las variedades Agata, Avena desnuda, Avemex, Chihuahua, Diamante, Karma, Menonita, Obsidiana, Ópalo, Papigochi, Rarámuri, Saia y Turquesa; progenitores 7, 11, 12 y 13; y los genotipos denominados Var. 12, 14, 27, 28, 36, 43 y 44. Estos se sembraron en 50 charolas de plástico con una mezcla de tierra preparada con 24 perforaciones, donde en cada perforación se sembraron 15 semillas de cada genotipo. Las charolas se mantuvieron en invernadero a 20 °C noche y 23 °C día; 14 días después de la siembra se hizo la inoculación con los 50 aislamientos monopustulares.

Obtención de aislamientos monopustulares e inoculación en la variedad Ópalo

En 25 vasos de unisel con una mezcla de tierra preparada se distribuyeron en cada uno 15 semillas de la variedad susceptible Ópalo, se mantuvieron en invernadero a 20 °C noche y 23 °C día. A las plántulas, cuatro días después de la siembra se les agregó el herbicida MH-30 (ácido maléico) (3,6-dihydrozypyridazine, 99%), en una dosis para 96 vasos de 0.2 g L⁻¹, lo que inhibió el punto de crecimiento meristemático por lo que la hoja primaria se desarrolló al máximo (Sabba *et al.*, 2009).

Las uredosporas de cada colecta se suspendieron en aceite mineral Soltrol® inoculándose con boquillas aspersoras en las plántulas siete días después; una vez que el aceite se evaporó, los vasos se colocaron en cámara húmeda por 13 h de rocío y 3 h de luz. Después se trasladaron al invernadero a 20 °C noche y 23 °C día en jaulas separadas. Siete días después de la inoculación, cuando se observaron las primeras pústulas se hizo un corte de hojas dejando en cada vaso sólo tres hojas separadas, cada una con una pústula.

Durango; Francisco I. Madero (2), Hidalgo and Zacatecas Experimental Field (CEZAC) (3), Zacatecas. The urediniospores of each collection were stored in gelatin capsules at -55 °C.

Management of oats genotypes

The 24 genotypes provided by the INIFAP-CEVAMEX were: Agata, Avena Desnuda, Avemex, Chihuahua, Diamante, Karma, Menonita, Obsidiana, Ópalo, Papigochi, Raramuri, Saia and Turquesa varieties; progenitors 7, 11, 12 and 13 and Var-called genotypes 12, 14, 27, 28, 36, 43 and 44. These were planted in 50 plastic trays with a prepared soil mixture with 24 holes; in each hole 15 seeds of each genotype were planted. Trays were kept in greenhouse at 20 °C in the night and 23 °C in the day, 14 days after sowing the inoculation was made with 50 monopustules isolates.

Obtaining monopustule isolates and inoculation in Ópalo variety

In 25 Styrofoam cups with prepared soil mix, 15 seeds of Ópalo susceptible variety were distributed in each one; they were kept in greenhouse at 20 °C at night and 23 °C in the day. Herbicide MH-30 (maleic acid) (3,6-dihydrozypyridazine, 99%) was added to seedlings, four days after planting, at a dose for 96 cups of 0.2 g L⁻¹, which inhibited the meristematic growing point, so that the primary leaf developed at the maximum (Sabba *et al.*, 2009).

The urediniospores of each group were suspended in mineral oil Soltrol®, and then inoculated with nozzles in seedlings after seven days; once the oil was evaporated, cups were placed in a moist chamber for 13 h dew and 3 h of light. Then they were moved to a greenhouse at 20 °C at night and 23 °C in the day in separated cages. Seven days after inoculation, when the first pustules were observed there was a leaf cut, leaving only three separated leaflets in each cup, each one with a pustule.

Urediniospores of each pustule that formed a monopustule isolated were collected with collecting nozzles and stored in gelatin capsules at -55 °C. 75 monopustule isolates were obtained, three per collect (1A, 1B, 1C, 2A, 2B, 2C,..., 25A, 25B, 25C), using only 50. Each tray with genotypes was inoculated with a monopustule isolated, trays were identified, allowed to dry and placed in a moist chamber for 13 h dew and 3 h of light, then were taken to the greenhouse at 20 °C in the night and 23 °C daytime.

Las uredosporas de cada pústula, que formaron un aislamiento monopustular, fueron recolectadas con boquillas recolectoras almacenándose en cápsulas de gelatina a -55 °C. Se obtuvieron 75 aislamientos monopustulares, tres por recolecta (1A, 1B, 1C, 2A, 2B, 2C,..., 25A, 25B, 25C), utilizándose sólo 50. Cada charola con los genotipos se inoculó con un aislamiento monopustular, las charolas se identificaron, se dejaron secar y se colocaron en cámara húmeda por 13 h de rocío y 3 h de luz; después se llevaron al invernadero a 20 °C noche y 23 °C día.

Evaluación de la reacción de infección de los genotipos

Los tipos de infección (TI) en los genotipos se tomaron 14 d después de la inoculación cuando hubo pústulas utilizando la escala de clasificación 0-4 (Cuadro 1), donde 3 y 4 fueron clasificadas como plántulas susceptibles, y 0-, ;-, 1, 2, X y puntos intermedios fueron evaluadas como resistentes (Roelfs *et al.*, 1992).

Cuadro 1. Respuestas del hospedante (RH), tipos de infección (TI) y descripciones de las reacciones de infección y síntomas de la enfermedad para evaluar roya del tallo en avena (Roelfs *et al.*, 1992).

Table 1. Host response (HR), infection types (IT) and descriptions of infection reactions and disease symptoms to evaluate oat stem rust (Roelfs *et al.*, 1992).

RH (clase)	TI 0-4	Síntomas o signos de la enfermedad
Inmune	0-	Ningún uredinio presente
Casi immune	;-	No hay uredinios, pecas cloróticas o necróticas que indican hipersensibilidad
Muy resistente	1	Uredinios pequeños rodeados por necrosis
Moderadamente resistente	2	Uredinios pequeños o medianos rodeados por clorosis o necrosis; puede haber una isla verde rodeada por clorosis o necrosis
Heterogénea	X	Uredinios de tamaño variable distribuidos al azar en una sola hoja
Moderadamente susceptible	3	Uredinios medianos con cierta clorosis
Susceptible	4	Uredinios grandes sin clorosis

Escala: 0-, ;-, 1, 2, y X son resistentes; 3 y 4 son susceptibles.

Hubo diferencias en virulencia en los aislamientos colectados que se manifestó con diferentes TI, 0-, ;-, 1, 3 y 4. Los genotipos con resistencia a todos los aislamientos inoculados fueron Agata, Avena desnuda, Menonita y Saia; Karma y Turquesa, los que mostraron resistencia a la mayoría de los aislamientos y Ópalo fue el único genotipo susceptible a todos ellos. Los progenitores 11, 12 y 13 fueron los más resistentes con TI 0-, ;- y 1, ante todos los aislamientos a excepción del progenitor 12 con TI X ante el aislamiento 18A. Estos genotipos serán importantes como fuentes de resistencia para futuros planes de cruza en los programas de mejoramiento de avena. Las variedades 12, 14, 27, 28, 36, 43 y 44, mostraron un buen nivel de resistencia ante la mayoría de los aislamientos. Los

Evaluation of infection reaction of genotypes

The infection types (IT) in genotypes were taken 14 d after inoculation, when there were pustules, using the rating scale 0-4 (Table 1), where 3 and 4 were classified as susceptible seedlings and 0-, ;-, 1, 2, X and intermediate points were evaluated as resistant (Roelfs *et al.*, 1992).

There were differences in virulence in collected isolates, those differences were manifested with different IT, 0-, ;-, 1, 3 and 4. Genotypes with resistance to all inoculated isolates were: Agata, Avena desnuda, Menonita and Saia; Karma and Turquesa were those who showed resistance to most isolates and Ópalo was the only genotype susceptible to all of them. Progenitors 11, 12 and 13 were the toughest with IT 0-, ;- and 1, with all isolates except progenitor 12 with IT X against isolated 18A. These genotypes will be important as resistance sources to future cross plans in oat improvement programs. Varieties 12, 14, 27, 28, 36, 43 and 44, showed a

good resistance level to most isolates. Most virulent isolates were 16A, 16B, 18A and 18B, as they led genotypes with IT 0-, ;- and 1, showed an IT X.

Seven out of the evaluated genotypes can be used as differentials in the future: Chihuahua, Avemex, Obsidiana, Papigochi, Diamante, Raramuri and Progenitor 7. Besides these seven differentials have the advantage of being adapted to climatic conditions in Mexico, an important point when making host differentials selection as indicated by Roelfs (1985). Due to their different IT, these genotypes possess several resistance genes: Chihuahua and Diamante probably have a gene (IT X) for isolates 2 and 20; while Avemex,

aislamientos más virulentos fueron 16A, 16B, 18A y 18B, ya que, propiciaron que genotipos con TI 0-, - y 1, mostraran un TI X.

Siete de los genotipos evaluados pueden usarse en el futuro como diferenciales: Chihuahua, Avemex, Obsidiana, Papigochi, Diamante, Rarámuri y Progenitor 7. Además estas siete diferenciales tienen la ventaja de estar adaptadas a las condiciones climáticas de México, un punto importante al hacer la selección de hospederos diferenciales como lo señala Roelfs (1985). Por sus diferentes TI estos genotipos poseen varios genes de resistencia: Chihuahua y Diamante probablemente tienen un gen (TI X) para los aislamientos 2 y 20; mientras que Avemex, Obsidiana, Papigochi, Rarámuri, y el progenitor Prog. 7 al parecer tienen 2 genes, uno (confiriendo) que confiere resistencia (TI 1) para los aislamientos 2, 5, 12, 5 y 2, y el otro (TI X) para los aislamientos 17, 8, 11, 5 y 22; sin embargo, Avemex y Obsidiana podrían tener más de dos genes de resistencia como lo mencionan Torres *et al.* (2007).

Con estas diferenciales se puede determinar cuántas razas de *P. graminis* f. sp. *avenae* están incidiendo en las zonas productoras (Cuadro 2), y al observar distintas interacciones diferenciales se corroboró una relación gen a gen en este patosistema, coincidiendo nuevamente con lo observado por Torres *et al.* (2007) y lo mencionado por Martens *et al.* (1970). El número de razas fisiológicas por determinar va a depender de las diferenciales disponibles y de los TI obtenidos. Si se dispone de n diferenciales, el número total de razas fisiológicas será 2ⁿ (Lacadena, 1970). En esta investigación utilizando sólo una diferencial se encontraron dos aislamientos diferentes, con dos diferenciales 4, con tres 6, con cuatro 10, con cinco 16, con seis 22 y con siete 24 razas del patógeno.

Obsidiana, Papigochi, Rarámuri and progenitor Prog. 7, apparently have 2 genes, one (giving) that confers resistance (IT 1) for isolates 2, 5, 12, 5 and 2 and the other (IT X) for isolates 17, 8, 11, 5 and 22; but Avemex and Obsidiana may have more than two resistance genes as mentioned by Torres *et al.* (2007).

With these differentials it can be determined how many races of *P. graminis* f. sp. *avenae* are affecting the production areas (Table 2) and while observing various differentials interactions it was confirmed a relationship gene to gene in this pathosystem; coinciding again with the observations of Torres *et al.* (2007) and that mentioned by Martens *et al.* (1970). The number of physiological races to be determined will depend on available differentials and IT obtained. If there is n differentials, the total number of physiological races will be 2ⁿ (Lacadena 1970). In this research, using only one differential two different isolates were found, with two differentials 4, with three 6, with four 10, with five 16, with six 22 and with seven 24 pathogen races.

By grouping the differentials' IT, in CEMOAX impact two races. In San Juan Yucuita there is more variability in pathogen virulence, making it likely that four races exist. In Sandoval and Pabellón de Arteaga, the greatest diversity was found as there could be nine and five different races. In Valle de Guadiana there are four different races, in Francisco I. Madero there is evidence of three races, in Cuyuaco there is evidence of only one race and in the Mazapiltepec de Juárez region there are four distinct races. Finally, in CEZAC's experimental fields there are three different races.

Cuadro 2. Tipos de reacción de los genotipos de avena utilizados como diferenciales y las 24 diferentes razas determinadas de *Puccinia graminis* f. sp. *avenae*.

Table 2. Types of reaction of oat genotypes used as differentials and the 24 determined different races of *Puccinia graminis* f. sp. *avenae*.

Genotipos	Número de razas																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Avemex	S	S	R	S	S	S	S	R	R	S	R	R	R	R	S	R	R	S	R	R	S	R	R	R
Chihuahua	S	S	R	S	S	S	S	S	S	S	S	R	R	S	S	R	S	R	S	R	S	R	S	S
Diamante	S	R	R	S	S	R	S	S	R	S	S	R	R	S	S	R	R	R	R	R	R	R	R	S
Obsidiana	S	S	S	S	S	S	S	S	S	R	S	R	R	R	R	S	S	S	R	R	S	R	S	S
Papigochi	R	R	R	S	S	S	R	S	R	R	R	R	R	R	R	S	S	S	S	S	R	S	R	S
Rarámuri	S	R	S	S	S	S	S	S	R	R	S	S	R	R	S	S	S	S	S	S	S	R	S	S
Progenitor 7	S	R	S	S	R	S	R	S	S	S	S	R	R	S	R	S	S	R	R	R	S	R	R	R

R= resistencia (TI 1, -, 2 y X); S= susceptibilidad (TI 3 y 4).

Al agrupar los TI de las diferenciales, en el CEMOAX inciden dos razas. En San Juan Yucuita hay más variabilidad en cuanto a virulencia del patógeno, por lo que es probable que existan cuatro razas. En Sandoval y Pabellón de Arteaga, se encontró la mayor diversidad ya que podrían existir nueve y cinco razas diferentes. En Valle de Guadiana hay cuatro razas distintas; en Francisco I. Madero existe evidencia de tres razas; en Cuyaco sólo hay evidencia de una raza; y en la región de Mazapiltepec de Juárez cuatro razas distintas. Por último, en los campos experimentales del CEZAC inciden tres razas diferentes.

CONCLUSIONES

Existe gran variabilidad genética en los aislamientos probados de *P. graminis* f. sp. *avenae* colectados en seis estados del país. Siete de los genotipos probados pueden ser usados para observar la diversidad genética del patógeno, así como diferenciales para la identificación de razas fisiológicas del hongo. En estos genotipos seleccionados fue fácil observar distintas interacciones diferenciales, por lo que se corroboró una relación gen a gen en este patosistema.

Se identificaron 24 aislamientos diferentes lo que equivaldría a 24 razas distintas del patógeno con base en la respuesta ante siete genotipos de avena. Por la colindancia de los estados donde se hicieron las recolectas, estas razas pudieran estar incidiendo en el Estado de México y el Distrito Federal, regiones importantes en la producción de avena.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por INIFAP-CEVAMEX, dentro del proyecto fiscal "Mejoramiento genético y liberación de variedades de avena para la producción de forraje y grano en México".

LITERATURA CITADA

Chong, J.; Leonard, J. K. and Salmerón, J. J. 2000. A North American system of nomenclature for *Puccinia coronata* f. sp. *avenae*. Plant Dis. 84:580-585.

CONCLUSIONS

There is great genetic variability on tested isolates of *P. graminis* f. sp. *avenae*, collected in six states. Seven out of the tested genotypes can be used to observe the pathogen's genetic diversity as well as differentials for identification of fungus' physiological races. In these selected genotypes it was easy to observe various differentials interactions, thus was confirmed a gene to gene relationship in this pathosystem.

Twenty four different isolates were identified, equivalent to 24 different races of the pathogen based on the response to seven oats genotypes. Due to the boundary of the states where the collections were made, these races could be affecting the State of Mexico and the Federal District, important regions in oats production.

End of the English version



- Ebesta, J.; Roderick, H. W.; Stojanovic, S.; Zwats, B.; Harder, D. E. and Corazza, L. 2000. Genetic basis of oat resistance to fungal diseases. Plant Prot. Sci. 35(1):23-28.
- Fetch, Jr. T. G. and Jin, Y. 2007. Letter code system of nomenclature for *Puccinia graminis* f. sp. *avenae*. Plant Dis. 91:763-766.
- Harder, D. E. 1994. Identification of new races of *Puccinia graminis* f. sp. *avenae*. Plant Dis. 78:367-368.
- Huerta, E. J. and Singh, R. P. 2000. Las royas del trigo. In: El trigo de temporal en México. Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. E. (eds.). SAGAR, INIFAP, CIRCE-CENTRO CEVAMEX. México. 231-251 pp.
- Lacadena, J. R. 1970. Genética vegetal. Fundamentos de su aplicación. Segunda edición. AGESA. Madrid, España. 121-127 pp.
- Martens, J. W.; McKenzie, R. I. H. and Green, G. J. 1970. Gene-for-gene relationships in the *Avena: Puccinia graminis* host-parasite system in Canada. Can. J. Bot. 48:969-975.
- Roelfs, A. P.; Casper, D. H. and Long, D. L. 1979. Races of *Puccinia graminis* in the United States during 1978. Plant Dis. Reporter. 63:748-751.
- Roelfs, A. P. 1985. Race specificity and methods of study. In: the cereal rust. Vol. I. Academic Press, New York, USA. 131-161 pp.

- Roelfs, A. P.; Long, D. L. and Casper, D. H. 1983. Races of *Puccinia graminis* f. sp. *avenae* in the United States and Mexico during 1981. Plant Dis. 67:986-987.
- Roelfs, A. P.; Casper, D. H. and Long, D. L. 1986. Races of *Puccinia graminis* in the United States and Mexico during 1985. Plant Dis. 70:1010-1013.
- Roelfs, A. P. and Martens, J. W. 1988. An international system of nomenclature for *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. Phytopathology. 78:526-533.
- Roelfs, A. P.; Casper, D. H.; Long, D. L. and Roberts, J. J. 1989. Races of *Puccinia graminis* in the United States and Mexico during 1987. Plant Dis. 73:385-388.
- Roelfs, A. P.; Singh, P. R. y Saari, E. E. 1992. Las royas del trigo. CIMMYT. D. F., México 81 p.
- Sabba, P. R.; Holman, P. J.; Drilias M. and Bussan, J. A. 2009. Influence of maleic hydrazide on yield and sugars in potato tubers. Am. J. Potatoe Res. 86:272-277.
- Salmeron, J. J.; Harder, D. F. and Chong, J. 1996. Identification of oat genotypes resistant to stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *avenae*) and crown rust (*Puccinia coronata* f. sp. *avenae*). Rev. Mex. Fitopatol. 14(1):15-19.
- Stewart, D. M. and Roberts, J. B. 1970. Identifying races of *Puccinia graminis* f. sp. *avenae*. A modified International System. Technical Bulletin No. 1416. Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture. USA. 23 p.
- Torres, P. I.; González, M. M. C., Villaseñor, M. H. E.; Huerta, E. J.; Villordo E. P.; Espitia R. E.; Guevara, G. R. y Guevara, O. L. 2007. Marcadores genéticos de resistencia a roya de tallo (*Puccinia graminis* Persoon f. sp. *avenae*) en avena (*Avena sativa* L.). Agric. Téc. Méx. 33(3):221-230.
- Villaseñor, M. H. E.; Limón, O. A.; Huerta, E. J.; Rodríguez, G. Ma. F. y Espitia, R. E. 2005. El cultivo de la avena en los Valles de México. In: Día de campo CEVAMEX-2005. Chapingo, Estado de México. Memoria técnica. 60-68 pp.
- Villaseñor, M. H. E.; Huerta, E. J.; González, R.; Leyva, G.; Salmerón, J.; Osorio, L.; Jiménez, C.; López, J.; Solís, E.; Cabañas, B. y Espitia, E. 2007. Estrategia en la selección de líneas avanzadas de avena por resistencia durable a roya del tallo (*Puccinia graminis* f. sp. *avenae*). In: Memoria, XXXIV Congreso Nacional de Fitopatología, IX Congreso Internacional de Fitopatología, Cancún, Quintana Roo, México. 72 p.