

Resistance evaluation of oat genotypes to stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *avenae*)

Evaluación de la resistencia de genotipos de avena a roya del tallo (*Puccinia graminis* f. sp. *avenae*)

Julio Huerta-Espino, ¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de México, Carretera Los Reyes-Texcoco Km 13.5 Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, CP 56250, México; **Erika Evelin Ramírez-Ramírez**, **Santos Gerardo Leyva-Mir**, Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, Km 38.5. Chapingo, Estado de México. CP 56230; **Héctor Eduardo Villaseñor-Mir**, **René Hortelano Santa-Rosa**, **Eliel Martínez-Cruz**, **María Florencia Rodríguez-García**.*

*Corresponding autor: rodriguez.maria@inifap.gob.mx

Received: February 08, 2022.

Accepted: April 01, 2022.

Huerta-Espino J, Ramírez-Ramírez EE, Leyva-Mir SG, Villaseñor-Mir HE, Santa-Rosa RH, Martínez-Cruz E and Rodríguez-García MF. 2022. Resistance evaluation of oat genotypes to stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *avenae*). Mexican Journal of Phytopathology 40(2).

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2202-1>

Primera publicación DOI: 14 de Abril, 2022.

First DOI publication: April 14, 2022.

Abstract. The resistance in seedling and adult plant of 13 varieties and 37 lines of oats against stem rust caused by *Puccinia graminis* f. sp. *avenae* was evaluated. TNQ and TFQ races and isolates AMEX18.21.1.1 and AMEX18.18.1.1 for seedling evaluation; and AMEX18.18.1.1 isolate in adult plants were used. The Diamante, Menonita, Karma and Turquesa varieties were resistant in seedling to the TFQ race, but susceptible to TNQ and the isolates AMEX18.21.1.1 and AMEX18.18.1.1, the other varieties were susceptible to the two races and

Resumen. Se estudió la resistencia en plántula y planta adulta de 13 variedades y 37 líneas de avena contra la roya del tallo causada por *Puccinia graminis* f. sp. *avenae*. Se utilizaron las razas TNQ y TFQ y los aislamientos AMEX18.21.1.1 y AMEX18.18.1.1 para la evaluación en plántula; y el aislamiento AMEX18.18.1.1 en planta adulta. Las variedades Diamante, Menonita, Karma y Turquesa fueron resistentes en plántula a la raza TFQ, pero susceptibles a TNQ y a los aislamientos AMEX18.21.1.1 y AMEX18.18.1.1, las otras variedades fueron susceptibles a las dos razas y aislamientos. Todas las variedades fueron susceptibles al aislamiento AMEX18.18.1.1, en plántula, pero en planta adulta éstas se clasificaron en susceptibles, intermedias y solo Teporaca fue resistente. Las 37 líneas se clasificaron en 17 grupos por la severidad final y por líneas hermanas. Los genotipos 25, 28, 34, 39 y 48 fueron resistentes en plántula a AMEX18.18.1.1, y el resto fueron susceptibles. En campo todas las líneas fueron resistentes y solo el genotipo 19 del grupo 14, alcanzó un 20% de infección.

isolates. All varieties were susceptible to isolate AMEX18.18.1.1, in seedling, but in adult plants these were classified as susceptible, intermediate and only Teporaca was resistant. The 37 lines were classified into 17 groups by final severity and sister lines. Genotypes 25, 28, 34, 39 and 48 were seedling resistant to AMEX18.18.1.1, and the rest were susceptible. In the field all the lines were resistant and only genotype 19 of group 14, reached a 20% infection. From its response in seedlings and in adult plants of the advanced lines, it is inferred that resistance is conditioned by adult plant genes.

Key words: virulence, races, isolates.

The oat (*Avena sativa*) crop has, in the past three decades, increased in importance in rainfed cultivations, particularly when the traditional crops such as maize, wheat, barley and beans are damaged or it is no longer convenient to plant them (Villaseñor *et al.*, 2021). In the year 2020, 94% of the surface planted with oat was used for the production of animal feed in its different forms, where 75% of the cultivations were carried out under rainfed conditions (SIAP, 2022). Oat is a cereal that adapts well to high, cold and rainy areas, but it also adapts to semi-arid environments and it is a good alternative when other crops do not prosper (Villaseñor *et al.*, 2021). This crop, like other cereals, is exposed to diseases caused by fungi, out of which rusts are the most destructive. Stem rust caused by *Puccinia graminis* f. sp. *avenae* is one of the most devastating for the crop and it has a broad weather range. In Mexico, it is the disease that most affects oat production, since it can reduce yields by up to 70%, as indicated by Leyva *et al.* (2004). An important reason for this is the large diversity of races of the populations of the pathogens and their continuous evolution, as mentioned by Mariscal

Por su respuesta en plántula y en planta adulta de las líneas avanzadas, se infiere que la resistencia está condicionada por genes de planta adulta.

Palabras clave: virulencia, razas, aislamientos.

El cultivo de avena (*Avena sativa*) en las últimas tres décadas ha tomado importancia en las siembras de temporal, sobre todo cuando los cultivos tradicionales como maíz, trigo, cebada y frijol se siniestran o ya no era conveniente sembrarlos (Villaseñor *et al.*, 2021). Durante el 2020, de la superficie sembrada de avena, el 94% se destinó para la producción de forraje en sus diferentes formas en donde el 75% de las siembras se realizaron bajo condiciones de temporal (SIAP, 2022). La avena es un cereal con buena adaptación a zonas altas, frías y lluviosas, pero también se adapta en ambientes semiáridos y es buena alternativa cuando otros cultivos no prosperan (Villaseñor *et al.*, 2021). Este cultivo al igual que otros cereales, está expuesto a enfermedades causadas por hongos, de los cuales las royas son las más destructivas. La roya del tallo causada por *Puccinia graminis* f. sp. *avenae* es una de las más devastadora del cultivo y tiene un rango de adaptación climática muy amplio. En México es la enfermedad que más afecta la producción de avena ya que puede disminuir el rendimiento hasta en un 70% como lo indican Leyva *et al.* (2004). Una razón importante, por lo que sucede esto, es la gran diversidad de razas existentes en las poblaciones del patógeno y su continua evolución como lo mencionan Mariscal *et al.* (2011), quienes reportan la presencia de 24 razas fisiológicas de roya del tallo en zonas productoras de Oaxaca, Puebla, Hidalgo, Aguascalientes, Durango y Zacatecas. Por otro lado, la existencia de hospedantes alternos como la avena silvestre (*A. fatua*) que es susceptible a esta enfermedad, perpetua la presencia del inóculo durante

et al. (2011), who report the presence of 24 physiological stem rust races in production areas in Oaxaca, Puebla, Hidalgo, Aguascalientes, Durango and Zacatecas. On the other hand, the existence of secondary hosts, such as wild oat (*A. fatua*), which is susceptible to this disease, perpetuates the presence of the inoculum throughout the year in all the production areas, including those not reported as oat-producing areas.

The most effective control for stem rust in oat is achieved with the use of resistant varieties (Villaseñor *et al.*, 2021). The fungicides applied on the foliage can be used to efficiently protect the crops (Leyva *et al.*, 2018), although they increase production costs, therefore genetic breeding via the generation of resistant varieties is an effective method to manage the disease. Given the importance of stem rust in oat, the aim of this investigation was to evaluate the resistance of oat lines and varieties to stem rust in seedlings and adult plants.

The seedling tests were carried out in the National Laboratory for Rust and other Cereal Diseases (Laboratorio Nacional de Royas y otras Enfermedades de Cereales - LANAREC), of the National Forestry, Agriculture and Husbandry Institute (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias - INIFAP) Valle de México Experimental Field (CEVAMEX) located at 19° 29' LN and 99° 53' LW at an altitude of 2,250 masl (García, 1981). Eight sets of the 18th National Oat Trial (Ensayo Nacional de Avena - 18th EUAVENA) were planted in order to inoculate each set with two races and two stem rust isolates in a completely randomized design with two repetitions. The 50 genotypes of the 18th EUAVENA, out of which 13 are control varieties and 37 are advanced lines, were planted in 20 x 30 x 6 cm plastic trays, which were added a mixture of sterile soil and peat moss in a 60:40 ratio; small orifices were then marked and eight to nine

todo el año en todas las regiones productoras e inclusive en aquellas áreas no reportadas como productoras de avena.

El control más efectivo de la roya del tallo de la avena se logra mediante el uso de variedades resistentes (Villaseñor *et al.*, 2021). Los fungicidas aplicados al follaje pueden usarse para proteger eficazmente los cultivos (Leyva *et al.*, 2018) pero incrementan el costo de producción, por lo que el mejoramiento genético a través de la generación de variedades resistentes es un método efectivo en el manejo de la enfermedad. Dada la importancia de la roya del tallo en avena, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la resistencia de líneas y variedades de avena a la roya del tallo en plántula y planta adulta.

Las pruebas de plántula se llevaron a cabo en el Laboratorio Nacional de Royas y otras Enfermedades de Cereales (LANAREC) perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) localizado a 19° 29' LN y 99° 53' LO a una altitud de 2,250 msnm (García, 1981). Se sembraron ocho juegos del 18avo Ensayo Nacional de Avena (18vo EUA- VENA), con el propósito de inocular cada juego con dos razas y dos aislamientos de roya del tallo en un diseño completamente al azar con dos repeticiones. Los 50 genotipos del 18avo EUAVENA, de los cuales 13 son variedades testigo y 37 líneas avanzadas, se sembraron en charolas de plástico de 20 x 30 x 6 cm a las que se les agregó una mezcla de tierra estéril y peat moss en una proporción 60:40, se marcaron pequeños orificios y se colocaron de ocho a nueve semillas por genotipo. A los 12 días después de la siembra, los 50 genotipos se inocularon con la raza TNQ y TFQ y los aislamientos AMEX18.21.1.1 (proveniente de Moxolahuac, Puebla, México, con virulencia para la variedad Turquesa en el año 2018) y AMEX18.18.1.1

seeds were added per genotype. Twelve days after planting, the 50 genotypes were inoculated with the races TNQ and TFQ and isolates AMEX18.21.1.1 (from Moxolahuac, Puebla, Mexico, with a virulence for the Turquesa variety in the year 2018) and AMEX18.18.1.1 (gathered in 2018 in Santa Lucia, Texcoco, Estado de México of the Chihuahua variety, and considered to have been dominant in the field). The inoculation was carried out with a suspension of urediniospores at a concentration of 1×10^6 urediniospores/mL, which were suspended in mineral oil (Sotrol® 170) and sprayed with a nozzle connected to a compressor. The inoculated plants were moved to a bioclimatic chamber at 25 °C for 24 h and dew at 100%. Later, they were moved to the greenhouse, where the temperatures were 24 °C in the day and 15-20 °C in the night. The infection types (IT) were recorded 14 days after inoculation. To determine the TI, the scale proposed by Roelfs *et al.* (1992) for wheat stem rust was used, in which the genotypes with values of 3 and 4 were classified as susceptible whereas 0, ;, 1, 2 and X as resistant.

For the test in adult plants, the 50 genotypes of the 18th EUAVENA were planted in the Santa Lucia Experimental Field of the CEVAMEX in the summer of 2018 (July 9) under rainfed conditions in a completely randomized block experimental design with two repetitions. Planting was carried out by hand, at a density of 120 kg ha⁻¹. The occurrence of the pathogen was natural, and to ensure the presence of the *P. graminis* f. sp. *avenae* inoculant, the edge was planted with the Chihuahua variety, which helped disperse the inoculant. The severity of the disease was registered three times with 8-day intervals, using Cobb's modified scale (Peterson *et al.*, 1948) which ranges from 0 to 100% of the infected stem, including the peduncle.

Response in seedling. The varieties Diamante, Menonita, Karma and Turquesa were resistant to

(colectado en 2018 en Santa Lucia, Texcoco, Estado de México de la variedad Chihuahua y se considera fue el dominante en campo). La inoculación se realizó con una suspensión de urediniosporas a una concentración de 1×10^6 urediniosporas/mL, éstas fueron suspendidas en aceite mineral (Sotrol® 170) y asperjadas con un atomizador conectado a un compresor. Las plantas inoculadas se pasaron a una cámara bioclimática con temperatura de 25 °C por 24 h y rocío al 100%. Posteriormente, se trasladaron a invernadero con temperaturas de 24 °C de día y de 15-20 °C noche. Los tipos de infección (TI) se registraron a los 14 días después de la inoculación. Para determinar el TI se usó la escala propuesta por Roelfs *et al.* (1992) para roya del tallo de trigo, donde los genotipos con valores 3 y 4 fueron clasificados como susceptibles y 0-, ;-, 1, 2 y X como resistentes.

Para la prueba en planta adulta, los 50 genotipos del 18avo EUAVENA fueron sembrados en el Campo Experimental de Santa Lucia del CEVAMEX durante el verano del 2018 (9 de julio) bajo condiciones de temporal en un diseño experimental de bloques completamente al azar con dos repeticiones. La siembra se realizó de manera manual a una densidad de 120 kg ha⁻¹. La ocurrencia del patógeno fue de forma natural, y para asegurar la presencia de inóculo de *P. graminis* f. sp. *avenae*, se sembró un bordo de la variedad Chihuahua que sirvió como surco dispersor del inóculo. La severidad de la enfermedad se registró en tres ocasiones con intervalos de 8 días usando la escala modificada de Cobb (Peterson *et al.*, 1948) que va del 0 al 100% del tallo infectado incluyendo el pedúnculo.

Respuesta en plántula. Las variedades Diamante, Menonita, Karma y Turquesa fueron resistentes a la raza TFQ; pero susceptibles a TNQ y a los aislamientos AMEX18.21.1.1 y AMEX18.18.1.1, las otras variedades presentaron susceptibilidad a los

the race TFQ, but susceptible to TNQ and to isolates AMEX18.21.1.1 and AMEX18.18.1.1, whereas the other varieties displayed susceptibility to the four isolates. Among the advanced lines, labelled with the numbers 19, 24, 26 and 49, the same behavior was observed. Other lines that were resistant to at least one of the isolates were differentiated and classified in up to six groups, based on the response to the inoculation with the four isolates (Table 1); the lines not included in the table were susceptible to the four isolations.

Response of adult plant on the field. The environmental conditions favored the natural presence of *P. graminis* f. sp. *avenae*, which allowed for the expression of resistance in the varieties and advanced lines of the 18th EUAVENA. The levels of infection caused by stem rust in the evaluated genotypes were very similar for both repetitions, although the average of the final severity is still reported. The response of the varieties to isolate AMEX18.18.1.1 was of susceptibility at seedling, but in adult plants, they were classified as susceptible, intermediate and only Teporaca was

cuatro aislamientos. Entre las líneas avanzadas, identificadas con los números 19, 24, 26 y 49 se observó el mismo comportamiento. Otras líneas que fueron resistentes por lo menos a uno de los aislamientos se diferenciaron y clasificaron hasta en seis grupos con base en la respuesta a la inoculación con los cuatro aislamientos (Cuadro 1), las líneas no incluidas en dicho cuadro fueron susceptibles a los cuatro aislamientos.

Respuesta de planta adulta en campo. Las condiciones ambientales favorecieron la presencia de manera natural de *P. graminis* f. sp. *avenae* lo que permitió la expresión de la resistencia en las variedades y líneas avanzadas del 18avo EUAVENA. Los niveles de infección causados por la roya del tallo en los genotipos evaluados, para ambas repeticiones, fueron muy similares; pero, aun así, se reporta el promedio de la severidad final. La respuesta de las variedades al aislamiento AMEX18.18.1.1 fue de susceptibilidad en plántula, pero en planta adulta estas se clasificaron en susceptibles, intermedias y solo Teporaca se consideró como resistente como se observa en la Figura 1. Las 37 líneas por

Table 1. Advanced oat lines grouped according to their response to four *P. graminis* f. sp. *avenae* isolates.
Cuadro 1. Líneas avanzadas de avena agrupadas de acuerdo con su respuesta a cuatro aislamientos de *P. graminis* f. sp. *avenae*.

Grupo ^z	No. genotipo	Pedigrí	Raza o aislamiento			
			(TNQ)	(TFQ)	AMEX18.21.1.1	AMEX18.18.1.1
A	25	AI/P-V/11-5340-42C-0R-1C-0R-1C-0R				
	34	AVEINIFAP-2012-102-1C-3R-6C-0R-3C-0R	S	S	S	R
	39	AVEINIFAP-2012-102-13C-2R-2C-0R-5C-0R				
B	31	AVEINIFAP-2012-101-15C-2R-1C-0R-6C-0R				
	42	AVEINIFAP-2012-102-24C-3R-7C-0R-3C-0R	S	R	R	S
	35	AVEINIFAP-2012-102-1C-3R-3C-0R-1C-0R				
C	36	AVEINIFAP-2012-102-11C-3R-1C-0R-1C-0R	R	R	S	S
	38	AVEINIFAP-2012-102-13C-2R-2C-0R-2C-0R				
D	27	AI-O-I/11-5324-0C-17C-0R-1C-0R-1C	R	S	S	S
E	28	AI-O-I/11-5324-0C-17C-0R-1C-0R-3C	R	R	S	R
F	48	AVEINIFAP-2012-103-2C-1R-4C-0R-2C-0R	S	R	R	R

^zGroups A-F include different genotypes with their respective number in the 18th EUAVENA. S=Susceptible; R=Resistant. / ^zGrupos A-F incluye diferentes genotipos con su número respectivo en el 18avo EUAVENA. S=Susceptible; R=Resistente.

considered as resistant, as shown in Figure 1. The 37 lines, due to their response in adult plants, were grouped by sister lines and by disease severity. Thus, 17 groups were identified, which are shown in Table 2. In reference to these same lines, only those identified as 25 (AI/P-V/11-5340-42C-0R-1C-0R-1C-0R), 28 (AI-O-I/11-5324-0C-17C-0R-1C-0R-3C) and three sister lines with numbers 34, 39 and 48 (AVEINIFAP-2012-102) were resistant as seedlings to isolate AMEX18.18.1.1, and the rest were susceptible to this same isolate. On the field, all lines were resistant with levels of infection no greater than 10%, and only line 19, from group 14, reached 20% of infection, as illustrated in Table 2.

The response shown in the seedling and adult plant of the lines allows us to infer that resistance is conditioned by adult plant genes. However, with the data obtained to date, it is still not possible to determine whether the resistance is conditioned by genes of race specific or if it is conditioned by the accumulation of multiple genes of additive effects.

su respuesta en planta adulta en el campo se agruparon por líneas hermanas y por la severidad final de la enfermedad. Así se identificaron 17 grupos, los cuales se presentan en el Cuadro 2. Con referencia a estas mismas líneas, solo las identificadas como 25 (AI/P-V/11-5340-42C-0R-1C-0R-1C-0R), 28 (AI-O-I/11-5324-0C-17C-0R-1C-0R-3C) y tres líneas hermanas con el número 34, 39 y 48 (AVEINIFAP-2012-102) fueron resistentes en plántula al aislamiento AMEX18.18.1.1, y las demás fueron susceptibles a este mismo aislamiento. En campo, todas las líneas fueron resistentes con niveles de infección no mayores al 10% y sólo la línea 19 del grupo 14, alcanzó un 20% de infección como se ilustra en el Cuadro 2.

La respuesta mostrada en plántula y en planta adulta de las líneas nos permite inferir que la resistencia está condicionada por genes de planta adulta. Sin embargo, con los datos obtenidos a la fecha, aún no es posible determinar si la resistencia es condicionada por genes de raza específica o si

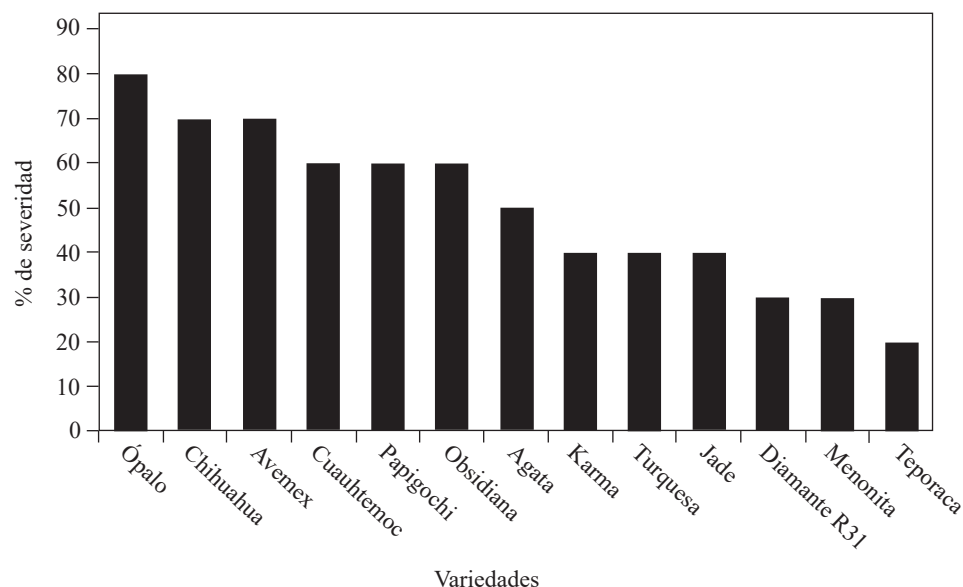


Figure 1. Percentages of infection observed on the field, caused by stem rust in 13 varieties of oat included in the 18th EUAVENA.

Figura 1. Porcentajes de infección observados en campo, causados por la roya del tallo en 13 variedades de avena incluidas en el 18avo EUAVENA.

Table 2. Grouping of the 37 oat lines included in the 18th EUAVENA by sister lines and the percentage of stem rust infection on the field.**Cuadro 2. Agrupamiento de las 37 líneas de avena incluidas en el 18avo EUAVENA por líneas hermanas y el porcentaje de infección a la roya del tallo en el campo.**

Grupo	Genotipos hermanos*	Pedigrí	% Infección
1	14	AI-OI/08-5042-0R-4C-0R-0C-0R-2C-0R	5
2	17,18	AI-OI/09-5180-0R	1
3	20	AI/P-V/09-5229-3C-0R-0C-0R-3C-0R	5
4	22,23,24,25,26	AI/P-V/11-5340	5
5	27,29	AI-O-I/11-5324-0C-17C-0R-1C-0R	5
6	30,31,32	AVEINIFAP-2012-101	5
7	40,42,43,44,46	AVEINIFAP-2012-102	1
8	33,35,36,37,38,41,45	AVEINIFAP-2012-102	5
9	47,49	AVEINIFAP-2012-103-2C-1R	5
10	15	AI-OI/08-5042	10
11	16	AI-OI/09-5104-0R-5C-0R-0C-0R-9C-0R	10
12	21	AI/P-V/09-5229-6C-0R-0C-0R-3C-0R	10
13	50	AVEINIFAP-2012-103-2C-3R-2C-0R-5C-0R	10
14	19	AI-OI/09-5102-0R-5C-0R-0C-0R-3C-0R	20
15	34,39	AVEINIFAP-2012-102	5
16	48	AVEINIFAP-2012-103-2C-1R-4C-0R-2C-0R	5
17	28	AI-O-I/11-5324-0C-17C-0R-1C-0R-3C	5

* From the same breed. / * Provenientes de la misma crucea.

The resistance to stem rust in oat varieties worldwide is not very common and there are no recent data or reports of any identification of sources of resistance. Furthermore, in some countries, all varieties are susceptible to existing races, such as in Australia (Park *et al.*, 2015). In Canada and the United States, it has been reported that there are no oat varieties that are resistant to the predominant races (Harder, 1994; Fetch *et al.*, 2002; Jin, 2021, personal communication).

The search for sources of resistance to stem rust in oat has led to conclude that variability is low or inexistent to races that currently prevail in Mexico and the different countries that produce this cereal. For example, a study in Canada suggested that the resistance to stem rust in *Avena* spp. is apparently not common, since out of 9978 accessions evaluated, only 47 lines (0.5%) displayed moderate to high levels of resistance to the race NA67 and

está condicionada por la acumulación de múltiples genes de efectos aditivos.

La resistencia a la roya del tallo en variedades de avena a nivel mundial no es muy común; y no hay datos recientes o reportes de identificación de fuentes de resistencia; inclusive en algunos países todas las variedades son susceptibles a las razas existentes como en Australia (Park *et al.*, 2015). En Canadá y Estados Unidos se reporta que no existen variedades de avena que sean resistentes a las razas predominantes (Harder, 1994; Fetch *et al.*, 2002; Jin, 2021, comunicación personal).

La búsqueda de fuentes de resistencia a la roya del tallo en avena ha permitido concluir que la variabilidad es baja o no existente a las razas que actualmente prevalecen en México y en los diferentes países productores de este cereal. Por ejemplo, un estudio en Canadá sugirió que la resistencia a la roya del tallo en *Avena* spp., aparentemente no es

only 71 (0.7%) displayed intermediate levels (Gold *et al.*, 2005). These results were very similar to those reported by Martens and Dyck (1989), who pointed out that the resistance to stem rust in oat was relatively rare. In previous studies that searched for resistance to stem rust in accessions of *Avena* spp., both wild and cultivated, from the Middle East, only 6 accessions out of the 1,538 evaluated (0.4%) displayed resistance to the race NA27 (Martens *et al.*, 1980). In Argentina, the only oat variety in use that was resistant to stem rust until 2004 was the genotype UFRGS-16 (Martinelli, 2004). Li *et al.* (2015) point out that they evaluated 35 oat genotypes for their resistance at seedlings to races TKR, TJM and TKM of stem rust, out of which only 13 were resistant to the three races.

This leads us to conclude that in the genus *Avena* spp. there is little variability for resistance to stem rust and thus the importance of this study, in which all the advanced lines that were a part of the 18th EUAVENA were resistant in adult plants to the same isolate to which they were susceptible as seedlings. The lines identified as resistant in adult plants were also resistant in other testing environments (no data shown). There are no reports of resistance in adult oat plants against *P. graminis* f. sp. *avenae*, making this the first of its kind. The challenge from here onwards is to use and maintain these levels of resistance in future oat varieties

Among the varieties evaluated, only Teporaca is considered resistant to stem rust in adult plants, whereas the other varieties range from susceptible to intermediate. The advanced lines included in the study were resistant, as adult plants on the field, to the same isolate they were susceptible as seedlings. These genotypes must be considered as sources of resistance in the crosses directed to the genetic breeding of oat in Mexico.

común; donde de 9978 accesiones evaluadas, solo 47 líneas (0.5%) mostraron niveles de moderados a altos de resistencia a la raza NA67 y solo 71 (0.7%) mostraron niveles intermedios (Gold *et al.*, 2005). Estos resultados fueron muy similares a lo reportado por Martens y Dyck (1989), quienes indicaron que la resistencia a la roya del tallo en la avena era relativamente rara. En estudios anteriores que buscaban resistencia a la roya del tallo en accesiones de *Avena* spp., silvestre y cultivada provenientes del Medio Oriente, solo 6 accesiones de 1,538 evaluadas (0.4%) mostraron resistencia a la raza NA27 (Martens *et al.*, 1980). En Argentina, la única variedad de avena en uso que fue resistente hasta el 2004 a la roya del tallo fue el genotipo UFRGS-16 (Martinelli, 2004). Li *et al.* (2015) indican que evaluaron 35 genotipos de avena por su resistencia en plántula a las razas TKR, TJM y TKM de roya del tallo, de los cuales solo 13 fueron resistentes a las tres razas.

De esto podemos concluir que dentro del género *Avena* spp., existe poca variabilidad para resistencia a la roya del tallo y de aquí la importancia del presente estudio donde todas las líneas avanzadas que formaron parte del 18avo EUAVENA fueron resistentes en planta adulta al mismo aislamiento al que en plántula la mayoría fueron susceptibles. Las líneas identificadas como resistentes en planta adulta también fueron resistentes en otros ambientes de prueba (no se muestran datos). No existen reportes de resistencia de planta adulta en avena contra *P. graminis* f. sp. *avenae* siendo este el primero en su tipo. El reto a futuro consiste en utilizar y mantener estos niveles de resistencia en las futuras variedades de avena.

Entre las variedades evaluadas, solo Teporaca se considera resistente a la roya del tallo en planta adulta, las otras variedades van de susceptibles a

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was financed by the INIFAP-CEVAMEX, within fiscal project No. 13505834821 “Generación de tecnología para incrementar la productividad del cultivo de avena de temporal en México” (Generation of technology to increase the productivity of the rainfed oat crop in Mexico).

LITERATURE CITED

- Fetch TG, Gold J and Nevo E. 2002. Evaluation of wild oat germplasm for stem rust resistance. *In: Proceedings of the 8th International Congress on Plant Pathology*. 2:195.
- García ME 1981. Modificaciones del sistema de clasificación climática de Köpen. Adaptada a condiciones de la República Mexicana. 3^{ra} Edición. México, D.F. 149 p.
- Gold SJ, Mitchell FJ and Fetch TGJ. 2005. Evaluation of *Avena* spp. accessions for resistance to oat stem rust. *Plant Disease* 89(5):521-525. <https://doi.org/10.1094/PD-89-0521>
- Harder DE. 1994. Identification of new races of *Puccinia graminis* f. sp. *avenae*. *Plant Disease* 78(4):367-368. <https://doi.org/10.1094/PD-78-0367>
- Li T, Cao Y, Wu X, Chen S, Wang H, Li K and Shen L. 2015. First report on race and virulence characterization of *Puccinia graminis* f. sp. *avenae* and resistance of oat cultivars in China. *European Journal of Plant Pathology* 142(1):85-91. <https://doi.org/10.1007/s10658-014-0591-6>
- Leyva MSG, Espitia RE, Villaseñor MHE y Huerta EJ. 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. *Revista Mexicana de Fitopatología* 22(2):166-171. <https://www.redalyc.org/pdf/612/61222202.pdf>
- Leyva MSG, Villaseñor MHE, Camacho TM, Ávila QGD, García LE y Tovar PJM. 2018. Respuesta de genotipos de avena a la infección por *Puccinia graminis* f. sp. *avenae* en los Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9(2):317-328. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i2.1074>
- Mariscal ALA, Huerta EJ, Villaseñor MHE, Leyva MSG, Sandoval IJS y Benítez RI. 2011. Selección de genotipos de avena para la identificación de razas de roya del tallo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2(4):593-600. <https://doi.org/10.29312/remexca.v2i4.1646>
- Martens JW and Dyck PL. 1989. Genetics of resistance to rust in cereals from a Canadian perspective. *Canadian Journal of Plant Pathology* 11(1):78-85. <https://doi.org/10.1080/07060668909501152>
- Martens JW, McKenzie RIH and Harder DE. 1980. Resistance to *Puccinia graminis avenae* and *P. coronata avenae* in the wild and cultivated *Avena* populations of Iran, Iraq and Turkey. *Canadian Journal of Genetics and Cytology* 22(4):641-649. <https://doi.org/10.1139/g80-070>
- intermedias. Las líneas avanzadas incluidas en el estudio fueron resistentes en planta adulta en el campo al mismo aislamiento al que en plántula fueron susceptibles. Estos genotipos deben considerarse como fuentes de resistencia en los cruzamientos dirigidos para el mejoramiento genético del cultivo de avena en México.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el INIFAP-CEVAMEX, dentro del proyecto fiscal No. 13505834821 “Generación de tecnología para incrementar la productividad del cultivo de avena de temporal en México”.

~~~~~ Fin de la versión en Español ~~~~~

- Martinelli JA. 2004. Oat diseases and their control *In: Fodder oats: a world overview*. Suttie JM and Reynolds SG (Edited). FAO Plant Production and Protection Series No. 33. 197-214pp. <https://www.fao.org/3/y5765e/y5765e0g.htm#bm16>
- Park R, Roake J and Kande K. 2015. Rust in oat: new challenges and international perspectives. *GroundCover™ Issue: 116*. <https://grdc.com.au/resources-and-publications/groundcover/ground-cover-issue-116-may+june-2015/rust-in-oat-new-changes-and-international-perspectives>
- Peterson R, Campbell A and Hannah A. 1948. A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals *Canadian Journal of Research* 26c:496-500. <https://doi.org/10.1139/cjr48c-033>
- Roelfs AP, Singh RP and Saari EE. 1992. Las royas del trigo: Conceptos y métodos para el manejo de esas enfermedades. México, D. F. CIMMYT. 81p. <https://repository.cimmyt.org/xmlui/handle/10883/1154>
- Sistema de Información Agrícola y Pecuaria (SIAP). 2022. Resumen nacional de avances agrícolas por estado. Producción anual. Cierre de la producción agrícola por cultivo. [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx)
- Villaseñor MHE, Huerta EJ, Rodríguez GMF, Hortelano SRR, Espitia RE y Martínez CE. 2021. Mejoramiento genético de avena en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Publicación especial* 25: 21-25. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i25.2808>