

Nuevas fuentes de resistencia a la podredumbre carbonosa de la soja causada por *Macrophomina phaseolina*

Sebastian Reznikov*, Juliana Bleckwedel*, María P. Claps*, Vicente De Lisi*, Victoria González*, Marcela Escobar**, Fernando Ledesma**, Mario Devani**, Atilio P. Castagnaro***, L. Daniel Ploper*.

RESUMEN

La podredumbre carbonosa de la soja [*Glycine max* (L.) Merr.], ocasionada por el hongo polífago *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid., es una enfermedad que ocasiona pérdidas económicamente importantes en el mundo. En el noroeste de Argentina esta patología es limitante para la producción de soja cuando se presentan condiciones de altas temperaturas y estrés hídrico. Debido a la importancia económica y a la falta de genotipos comerciales de soja resistentes a esta enfermedad, se planteó como objetivo evaluar el comportamiento de las líneas avanzadas de soja del programa de mejoramiento genético de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) frente a la podredumbre carbonosa, en ensayos a campo inoculados con el hongo. Se evaluaron los parámetros de severidad e índice de unidades formadoras de colonias de *M. phaseolina* (IUFC) en estadio fenológico R7 del cultivo. Se evaluaron 12 líneas de soja en la campaña 2016/2017 y 24 líneas en el ciclo agrícola 2017/2018. Las líneas que presentaron los mejores comportamientos frente a *M. phaseolina* en los ciclos agrícolas evaluados fueron: D38M3-13/182, D51N59-14/247 y Munasqa RR, las cuales se comportaron como moderadamente resistentes cuando se evaluó el parámetro severidad, y como resistentes según el parámetro IUFC. Estas líneas podrían ser utilizadas en los programas de mejoramiento genético como progenitores para incorporar la resistencia frente a esta enfermedad, y mejorar así el manejo de la podredumbre carbonosa de la soja en el noroeste de Argentina de forma eficaz y amigable con el ambiente.

Palabras clave: *Macrophomina phaseolina*, *Glycine max*, resistencia genética.

ABSTRACT

New sources of resistance to Charcoal rot of soybean caused by *Macrophomina phaseolina*

Charcoal rot of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.], caused by the polyphagous fungus *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid., is an economically important disease worldwide. In northwestern Argentina this pathology is limiting for soybean production when high temperatures and water stress prevail in the season. Due to its economic importance and the lack of commercial genotypes of soybean resistant to this disease, the objective of this work was to evaluate the reaction against charcoal rot of advanced lines from Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) breeding program, in field trials inoculated with the fungus. The parameters evaluated at the R7 stage were severity and a colony-forming unit index of *M. phaseolina* (CFUI). Twelve soybean lines were evaluated in the 2016/2017 growing season and 24 lines in the 2017/2018 season. These evaluations indicated that D38M3-13/182, D51N59-14/247 and Munasqa RR were moderately resistant when severity was considered, and as resistant based on the CFUI. These lines could be used in genetic improvement programs as parents to enhance resistance to this disease and thus improve the management of charcoal rot of soybeans in northwestern Argentina in an efficient and environmentally friendly way.

Key words: *Macrophomina phaseolina*, *Glycine max*, genetic resistance.

Fecha de recepción: 14/11/2019 - Fecha de aceptación: 19/12/2019

*Sección Fitopatología, **Sección Granos, ***Sección Biotecnología, Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Instituto de Tecnología Agroindustrial del Noroeste Argentino (ITANOA), Av. William Cross 3150, C.P. T4101XAC, Las Talitas, Tucumán, Argentina. sebastianreznikov@eeaoc.org.ar

INTRODUCCIÓN

En la República Argentina, la soja [*Glycine max* (L.) Merrill] es el principal cultivo considerando superficie sembrada, producción e ingresos de divisas. A fines de la década de 1990, prácticamente todas las zonas donde el cultivo ya estaba instalado experimentaron un período de gran crecimiento, debido a la implementación de cultivares resistentes a glifosato, desplazando a otros cultivos como el girasol, algodón, maíz, poroto, arroz, etc. (González *et al.*, 2013). En la actualidad, la Argentina es el tercer productor mundial, detrás de EE.UU y Brasil, y el primer exportador de aceite y harina de soja (USDA, 2018).

En el noroeste argentino (NOA) fueron sembradas 696.900 ha de soja durante la campaña 2017/2018 (Bolsa de Cereales, 2018). Esta región incluye las provincias de Tucumán, Salta, Jujuy, Santiago del Estero y Catamarca, y está localizada entre los 22° y 29° latitud sur y entre los 63° y 68° longitud oeste. En Tucumán fueron implantadas 193.030 ha de soja (Fandos *et al.*, 2018) durante el ciclo agrícola 2017/2018, con una producción promedio de 2,63 t/ha (Pérez *et al.*, 2018).

Uno de los principales factores que limita la producción de soja en el NOA es la presencia de las enfermedades, las cuales han ido progresivamente aumentando debido al uso de cultivares susceptibles, la falta de rotación de cultivos y la adopción de la siembra directa (Ploper, 2004).

La podredumbre carbonosa de la soja causada por *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. es una enfermedad que afecta a casi 500 especies en más de 100 familias de plantas (Mihail y Taylor, 1995). Las condiciones de temperaturas elevadas (28-35°C) y el déficit hídrico son predisponentes para el desarrollo de la enfermedad (Mihail, 1992; Mengistu *et al.*, 2013). Las plántulas de soja afectadas por este patógeno manifiestan lesiones castaño rojizo en el hipocótilo que se tornan gris ceniza a negro, y al remover los tejidos corticales se observan los microesclerocios negros pertenecientes a *M. phaseolina*. En plantas adultas se pueden observar síntomas de lesiones cloróticas en hojas que permanecen adheridas a los pecíolos y luego se curvan; y también la muerte de la planta con los signos descritos previamente en el cuello y la raíz (Ploper y Scandiani, 2009). Plantas enfermas, con raíces más pequeñas, tienden a producir menos semillas y más livianas. Además, las plantas enfermas maduran varias semanas antes, lo cual contribuye en gran medida a la disminución en el rendimiento atribuible a esta enfermedad (Mengistu *et al.*, 2007).

M. phaseolina muestra una amplia variabilidad morfológica, fisiológica, patogénica y genética (Su *et al.*, 2001; Reznikov *et al.*, 2018a; 2018b), lo que le ha permitido adaptarse a diferentes condiciones ambientales

y tener una amplia distribución geográfica, siendo importante en el norte y sur de América, Asia, Australia, África y algunas partes de Europa.

En el año 2006, las pérdidas mundiales ocasionadas por la podredumbre carbonosa de la soja fueron estimadas en 4,2% (Wrather *et al.*, 2010). En los Estados Unidos, estas fueron de 7,6% en el año 2015 (Allen *et al.*, 2016). En Argentina causó daños de diversa magnitud y en algunos casos pérdidas totales del cultivo en las provincias de Catamarca, Chaco, Córdoba, Entre Ríos, Santa Fe, Salta, Santiago del Estero y Tucumán durante la campaña 2000/2001 (Ploper *et al.*, 2001). En el NOA la incidencia de la enfermedad desde 2008 hasta 2011 fue baja (1%), mientras que en los ciclos agrícolas 2011/2012 y 2012/2013 se observó un incremento gradual de esta patología. La podredumbre carbonosa de la soja fue la principal enfermedad que afectó las raíces y el cuello del tallo de la planta, presentando valores máximos puntuales de incidencia de 30 y 90%, para las campañas 2011/2012 y 2012/2013, respectivamente (Reznikov *et al.*, 2018b). En la campaña 2015/2016, se detectó la enfermedad en un 30% de los lotes observados, con distintos grados de incidencia y severidad en las provincias de Jujuy y Salta. Además, se observó una incidencia de entre 5 y 10% en las provincias de Tucumán, Santiago del Estero y en el norte de la provincia de Santa Fe, y del 5% en el norte de la provincia de Buenos Aires y sur de la provincia de Santa Fe (Ivancovich *et al.*, 2016).

Prácticamente todos los años fue detectada la presencia de la podredumbre carbonosa de la soja en las zonas sojeras de la Argentina, con una incidencia y severidad relacionadas directamente a períodos de estrés hídrico y térmico (Ivancovich *et al.*, 2016). En la actualidad en Argentina, la soja es cultivada en ambientes que presentan condiciones ambientales menos favorables para su desarrollo, especialmente en términos de precipitaciones, lo que convirtió a esta enfermedad en un importante problema económico. En la campaña 2017/2018, la prevalencia de la podredumbre carbonosa de la soja se incrementó en la mayoría de los lotes comerciales de la zona núcleo debido a las condiciones ambientales de estrés hídrico, especialmente en las localidades de Oliveros, Timbúes, Maciel, Totoras y Los Nogales, de la provincia de Santa Fe (Clarín Rural, 2018).

El método más eficaz para el control de esta patología es la incorporación de resistencia genética al germoplasma comercial de esta oleaginosa (Romero-Luna *et al.*, 2017). Hasta hace algunos años el único genotipo de soja moderadamente resistente frente a *M. phaseolina* era DT97-4290 (Paris *et al.*, 2006). Recientemente, se caracterizaron otros tres genotipos ancestrales (PI 548302, PI 548414 y PI 548178) con mejor comportamiento frente a la podredumbre carbonosa que DT 97-4290 (Pawlowski *et al.*, 2015). En la actualidad, en la región productora del

NOA solo el genotipo comercial Munasqa RR manifiesta una resistencia moderada aunque significativamente superior a la que presenta el genotipo de referencia DT 97-4290 frente a esta enfermedad, no solo en condiciones controladas sino también a campo (Reznikov *et al.*, 2016; Reznikov *et al.*, 2018a).

Debido a la importancia económica y a la falta de otros genotipos comerciales de soja resistentes a esta enfermedad, se planteó como objetivo de este trabajo evaluar el comportamiento de líneas avanzadas del Programa Mejoramiento de Soja de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) frente a la podredumbre carbonosa, en ensayos a campo inoculados de manera artificial con *M. phaseolina*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ensayos de campo

Los ensayos se realizaron durante dos ciclos agrícolas (2016/2017 y 2017/2018) en la Sub Estación Monte Redondo de la EEAOC, ubicada en la localidad de San Agustín, departamento Cruz Alta, provincia de Tucumán, Argentina (26°49'S, 64°51'O). Las líneas avanzadas de soja evaluadas provinieron del programa de mejoramiento genético de la EEAOC. Durante la campaña 2016/2017 se evaluaron 12 líneas y 24 líneas en 2017/2018 (Tabla 1). La siembra se realizó el 3 de enero de 2017 para la primera campaña y el 4 de enero de 2018 para la segunda.

El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar con tres repeticiones. Cada parcela consistió en cuatro líneas de 3 m de longitud, espaciadas 0,5 m entre ellas (6 m²). Se utilizó una densidad de siembra de 23 semillas de soja por metro. Al momento de la siembra se colocaron manualmente 10 g de arroz colonizado con *M. phaseolina* por metro lineal. Para la preparación de este inóculo se utilizó arroz esterilizado, el cual fue inoculado con el aislamiento de *M. phaseolina* "Mp 55" e incubado a 30°C durante 20 días en cámara de oscuridad, a fin de favorecer el desarrollo de los microesclerocios.

Fenotipado de líneas de soja frente a *M. phaseolina*

Los parámetros evaluados fueron los siguientes: i) severidad en estadio fenológico R7 (Fehr *et al.*, 1971) utilizando la escala de Paris *et al.* (2006); con valores que van de 1 a 5, (Tabla 2); y ii) índice de unidades formadoras de colonia por gramo de tejido molido (IUFC) según el protocolo y la escala de Mengistu *et al.* (2007) (Tabla 3).

Las determinaciones de severidad y de unidades formadoras de colonias por gramo de raíz (UFC/g) se realizaron a partir de 10 plantas por cada parcela. Las muestras de material vegetal se obtuvieron cortando los tallos de las plantas 10 cm por encima de la línea del suelo, a fin de extraer el sistema radicular completo y parte del

Tabla 1. Líneas avanzadas de soja pertenecientes al programa de mejoramiento genético de la EEAOC evaluadas frente a *Macrophomina phaseolina* a campo con inoculaciones artificiales durante dos ciclos agrícolas (2016/2017 y 2017/2018). Sub Estación Monte Redondo de la EEAOC, San Agustín, Cruz Alta, Tucumán, Argentina.

Líneas de soja evaluadas frente a <i>Macrophomina phaseolina</i>		
N°	Campaña 2016/2017	Campaña 2017/2018
1	D5MG-13/279	–
2	SHN80-11/402	SHN 80-11/402
3	811CH-10/216	–
4	Virg 5909 13/015	Virg 5909 13/015
5	547 R1-11/142	–
6	D38M3-13/182	D38 M3-13/182
7	MD 5,8-21	MD 5,8-21
8	MD 5,8-7 (Tukuy)	–
9	Munasqa RR	Munasqa RR
10	D51N59-14/247	D51N59-14/247
11	Mq AW 571-11/183	–
12	N59 CRD-14/193	–
13	–	Mq DT 97-15/502
14	–	MP chR56-11/521
15	–	BOG R7-15/119
16	–	Mq N 49 16/069
17	–	Mp D784907-15/491
18	–	D70 H4-15/046
19	–	Mq Br1-14/120
20	–	N67 Se-14/087
21	–	56 Em 4-13/458
22	–	TJ 8 P123-13/411
23	–	S 59 H7-15/362
24	–	R 63731-15/362
25	–	Mq N 47-15/309
26	–	P 4 ch 80-14/065
27	–	Mq Br 34-14/220
28	–	Mq DT 97-15/214
29	–	Mq 49-15/505
30	–	D51 R56-14/141

Tabla 2. Escala de Paris *et al.* (2006) utilizada para evaluar el comportamiento de las líneas de soja frente a *Macrophomina phaseolina* a campo con inoculaciones artificiales durante dos ciclos agrícolas (2016/2017 y 2017/2018). Sub Estación Monte Redondo de la EEAOC, San Agustín, Cruz Alta, Tucumán, Argentina.

Escala de Paris <i>et al.</i> (2006)		
Grado	Descripción	Clasificación
1	sin decoloración y sin microesclerocios visibles	Resistente
2	tejido vascular sin decoloración, con muy pocos microesclerocios visibles en médula, tejido vascular o bajo epidermis	Moderadamente resistente
3	tejido vascular parcialmente decolorado, con microesclerocios que cubren parcialmente el tejido	Moderadamente susceptible
4	tejido vascular con decoloración, con numerosos microesclerocios en el tejido visibles bajo la epidermis externa en las secciones del tallo y la raíz	Susceptible
5	tejido vascular oscurecido por la gran cantidad de microesclerocios, tanto dentro como fuera de los tejidos del tallo y de la raíz	Susceptible

Tabla 3. Escala de Mengistu *et al.* (2007) utilizada para evaluar el comportamiento de las líneas de soja frente a *Macrophomina phaseolina* a campo con inoculaciones artificiales durante dos ciclos agrícolas (2016/2017 y 2017/2018). Sub Estación Monte Redondo de la EEAOC, San Agustín, Cruz Alta, Tucumán, Argentina.

Escala de Mengistu <i>et al.</i> (2007)	
IUFC	Clasificación
(0 a <10)	Resistente
(10 a ≤30)	Moderadamente resistente
(>30 a 60)	Moderadamente susceptible
(>60)	Susceptible

tallo. Se realizaron tres lavados con agua corriente para remover trazas de suelo e impurezas, se secaron a temperatura ambiente y finalmente se molieron utilizando un molino eléctrico. A partir de cada muestra se pesó 0,005 g de tejido molido, se colocó en un tubo tipo eppendorf de 1,5 ml y se desinfectó con NaClO al 5% durante 1 min, seguido de tres lavados con agua destilada estéril durante 1 min. Luego se separó el tejido molido del líquido usando un filtro de 45 µm. La muestra obtenida se resuspendió en 50 ml de medio de cultivo Agar Papa Glucosa (APG) al 2% acidificado con ácido láctico (pH 5), previamente esterilizado y atemperado a 50°C. Se mezcló y se fraccionaron 10 ml de la suspensión en placas de Petri de 90 mm de diámetro, las que luego se incubaron a 28°C durante 72 h en cámara de oscuridad. El recuento de las UFC/g de raíz molida se realizó usando un contador de colonias (Cole-Parmer, Texas, USA). Luego se calculó el IUFC a partir de los valores de UFC/g (Mengistu *et al.*, 2007). Se utilizó el genotipo Munasqa RR como testigo resistente a la podredumbre carbonosa de la soja.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fenotipado de soja frente a *M. phaseolina* a campo

Se evaluó el comportamiento de 30 líneas avanzadas de soja frente a la podredumbre carbonosa durante los ciclos agrícolas 2016/2017 y 2017/2018. En la Figura 1 se presentan las curvas de distribución de lluvias en el lote del ensayo en un período que abarca desde el 1 de febrero al 1 de mayo, tanto para el año 2017 como para 2018. Durante dicho período en 2017 se registraron 41 días con precipitaciones y un total de 509,8 mm, mientras que para el mismo período en 2018 hubo 28 días de lluvia con un total de 257,3 mm. En cuanto a las temperaturas, la máxima y la media promedio fueron de 27,8°C y 22,5°C, respectivamente, para el período 2017, en tanto que para 2018 fueron 29,0°C y 22,9°C, respectivamente. El ciclo agrícola 2017/2018 presentó condiciones ambientales más favorables para el desarrollo de la podredumbre carbonosa de la soja en comparación a la campaña 2016/2017.

Campaña 2016/2017

El comportamiento de las 12 líneas de soja evaluadas frente a *M. phaseolina* a campo se presenta en la Tabla 4. Las líneas de soja evaluadas presentaron valores de severidad de la podredumbre carbonosa de la soja en R7 desde 1,3 a 2,6. Nueve de las líneas evaluadas se clasificaron como moderadamente resistentes y tres como moderadamente susceptibles según la clasificación de Paris *et al.* (2006).

Los valores de UFC/g registrados para esta campaña estuvieron entre 0 y 5800 en las líneas evaluadas. Según la clasificación de Mengistu *et al.* 2007, al evaluar el IUFC, seis líneas se clasificaron como resistentes, una como moderadamente resistente, cuatro como moderadamente susceptibles y una como susceptible (Tabla 4).

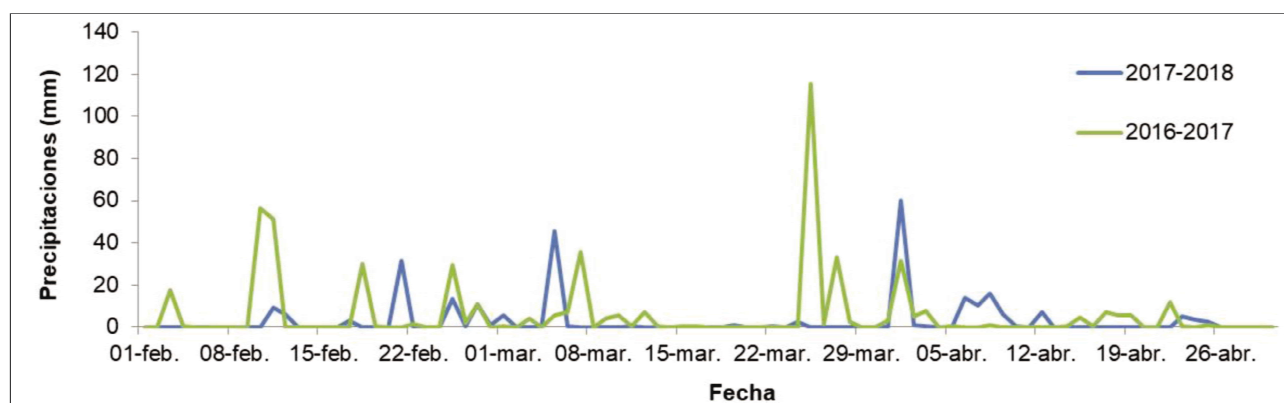


Figura 1. Curvas de distribución de lluvias en el lote del ensayo en Cruz Alta, Tucumán, en un período desde el 1 de febrero al 1 de mayo, para los años 2017 y 2018.

Tabla 4. Valores de severidad, UFC/g de raíz e IUGC de las líneas avanzadas de soja pertenecientes al programa de mejoramiento genético de la EEAOC evaluadas frente a *Macrophomina phaseolina* a campo con inoculaciones artificiales durante la campaña 2016/2017. San Agustín, Cruz Alta, Tucumán, Argentina.

Campaña 2016/2017					
Línea / Variedad	Severidad	Reacción según Paris <i>et al.</i> 2006	UFC/g	IUGC	Reacción según Mengistu <i>et al.</i> 2007
1- Tukuy MD 5,8-7	1,8	Moderadamente Resistente	5.800	100	Susceptible
2- D5MG-13/279	2,4	Moderadamente Susceptible	1.933	33	Moderadamente Susceptible
3- SHN80-11/402	1,2	Moderadamente Resistente	100	2	Resistente
4- 811CH-10/216	2,2	Moderadamente Susceptible	2.400	41	Moderadamente Susceptible
5- Virg 5909 13/015	1,7	Moderadamente Resistente	2.000	34	Moderadamente Susceptible
6- 547 R1-11/142	1,9	Moderadamente Resistente	500	8	Resistente
7- Munasqa RR	1,9	Moderadamente Resistente	133	2	Resistente
8- D38M3-13/182	1,7	Moderadamente Resistente	67	1	Resistente
9- MD 5,8-21	2,6	Moderadamente Susceptible	1.933	33	Moderadamente Susceptible
10- N59 CRD-14/193	1,5	Moderadamente Resistente	0	0	Resistente
11- D51N59-14/247	1,3	Moderadamente Resistente	333	6	Resistente
12- Mq AW 571-11/183	1,8	Moderadamente Resistente	1.000	17	Moderadamente Resistente

Campaña 2017/2018

En esta campaña se evaluaron 24 líneas avanzadas de soja frente a *M. phaseolina* a campo (Tabla 5). Los valores de severidad en R7 abarcaron un rango de 1,1 a 3,6. Entre las líneas de soja evaluadas según la clasificación de Paris *et al.* (2006), 10 de ellas se comportaron como moderadamente resistentes, 10 como moderadamente susceptibles y 4 como susceptibles (Tabla 5).

En esta campaña, los valores de UFC/g estuvieron en un rango de 900 a 44.600. Según la escala de Mengistu *et al.* 2007, cinco líneas de soja se comportaron como resistentes, siete como moderadamente resistentes, seis como moderadamente susceptibles y seis como susceptibles

(Tabla 5).

El ciclo agrícola 2017/2018 presentó los mayores valores de severidad (3,6) y de UFC/g (44.600) en comparación a la campaña 2016/2017 (2,4 de severidad y 5800 UFC/g). Esto se puede explicar debido a que las condiciones ambientales fueron más favorables para el desarrollo de la podredumbre carbonosa de la soja en el ciclo 2017/2018 en comparación con la campaña 2016/2017.

A continuación, se presentan los resultados del promedio del comportamiento de las líneas avanzadas de soja que fueron evaluadas en más de un ciclo agrícola frente a *M. phaseolina* (Tabla 6). Las líneas de soja que presentaron buen comportamiento frente a *M. phaseolina*

Tabla 5. Valores de severidad, UFC/g de raíz e IUFC de las líneas avanzadas de soja pertenecientes al programa de mejoramiento genético de la EEAOC evaluadas frente a *Macrophomina phaseolina* a campo con inoculaciones artificiales durante la campaña 2017/2018. San Agustín, Cruz Alta, Tucumán, Argentina.

Campaña 2017/2018					
Línea / Variedad	Severidad	Reacción según Paris <i>et al.</i> 2006	UFC/g	IUFC	Reacción según Mengistu <i>et al.</i> 2007
1- 56 Em 4-13/458	2,7	Moderadamente Susceptible	25.067	56	Moderadamente Susceptible
2- TJ 8 P123-13/411	3,2	Susceptible	31.267	70	Susceptible
3- S 59 H7-15/362	3,3	Susceptible	21600	48	Moderadamente Susceptible
4- R 63731-15/362	2,9	Moderadamente Susceptible	16.267	36	Moderadamente Susceptible
5- Mq N 47-15/309	1,6	Moderadamente Resistente	8.933	20	Moderadamente Resistente
6- MD 5,8-21	2,5	Moderadamente Susceptible	8733	20	Moderadamente Resistente
7- P 4 ch 80-14/065	3,6	Susceptible	37267	84	Susceptible
8- Mq Br 34-14/220	1,3	Moderadamente Resistente	6600	15	Moderadamente Resistente
9- Virg 5909 13/015	2,1	Moderadamente Susceptible	12.733	29	Moderadamente Resistente
10- Mq DT 97-15/214	3,5	Susceptible	25200	57	Moderadamente Susceptible
11- D38 M3-13/182	1,2	Moderadamente Resistente	900	2	Resistente
12- ShN 80-11/402	2,9	Moderadamente Susceptible	28.367	64	Susceptible
13- Mq 49-15/505	1,1	Moderadamente Resistente	1200	3	Resistente
14- Mq DT 97-15/502	1,9	Moderadamente Resistente	44.600	100	Susceptible
15- MP chR56-11/521	2,9	Moderadamente Susceptible	12.400	28	Moderadamente Resistente
16- BOG R7-15/119	2,1	Moderadamente Susceptible	30333	68	Susceptible
17- Mq N 49 16/069	1,2	Moderadamente Resistente	1133	3	Resistente
18- Mp D784907-15/491	1,5	Moderadamente Resistente	18667	42	Moderadamente Susceptible
19- D70 H4-15/046	2,2	Moderadamente Susceptible	18.267	41	Moderadamente Susceptible
20- Mq Br1-14/120	1,3	Moderadamente Resistente	10600	24	Moderadamente Resistente
21- N67 Se-14/087	2,6	Moderadamente Susceptible	31.067	70	Susceptible
22- Munasqa RR	1,3	Moderadamente Resistente	1133	3	Resistente
23- MP D15 N59 14/247	2,1	Moderadamente Susceptible	12733	29	Moderadamente Resistente
24- D51 R56-14/141	1,3	Moderadamente Resistente	1.400	3	Resistente

UFC/g: unidades formadoras de colonia por gramo de raíz molida.

IUFC: índice de unidades formadoras de colonia.

fueron: D38M3-13/182 con 1,4 de severidad promedio (moderadamente resistente) y 2 de IUFC (resistente); D51N59-14/247 fue moderadamente resistente con 1,3 de severidad y 4 de IUFC (resistente); y Munasqa RR con un valor de severidad promedio de 1,6 (moderadamente resistente) y valores de IUFC de 3 (resistente).

La podredumbre carbonosa de la soja causada por el hongo polífago *M. phaseolina* es una enfermedad de difícil control a nivel mundial. En la actualidad existen

diferentes estrategias de manejo como la utilización de semillas de alta sanidad, ya que el patógeno se transmite por la misma; la rotación con cultivos menos susceptibles, dado que el patógeno también sobrevive en el rastrojo; y la utilización de fungicidas curasemillas químicos y biológicos (Reznikov *et al.*, 2016).

No obstante, el método más eficaz de control es la incorporación de resistencia genética al germoplasma comercial de soja (Romero-Luna *et al.*, 2017). El primer

Tabla 6. Valores promedio de severidad e IUFC de las líneas avanzadas de soja pertenecientes al programa de mejoramiento genético de la EEAOC evaluadas en dos ciclos agrícolas frente a *Macrophomina phaseolina* a campo con inoculaciones artificiales. San Agustín, Cruz Alta, Tucumán, Argentina.

Línea / Variedad	Severidad	Reacción según Paris <i>et al.</i> 2006	IUFC	Reacción según Mengistu <i>et al.</i> 2007
SHN80-11/402	2,1	Moderadamente Susceptible	33	Moderadamente Susceptible
Virg 5909 13/015	2	Moderadamente Susceptible	32	Moderadamente Susceptible
D38M3-13/182	1,4	Moderadamente Resistente	2	Resistente
MD 5,8-21	2,5	Moderadamente Susceptible	31	Moderadamente Susceptible
Munasqa RR	1,6	Moderadamente Resistente	3	Resistente
D51N59-14/247	1,3	Moderadamente Resistente	4	Resistente

IUFC: índice de unidades formadoras de colonia.

genotipo de soja caracterizado como moderadamente resistente a la podredumbre carbonosa fue DT97-4290 (Paris *et al.*, 2006), para el cual la resistencia está conferida por varios genes de resistencia de efecto menor y cuantitativo (QTLs, "Quantitative Trait Loci"). Recientemente, otros tres genotipos ancestrales (PI548302, PI548414 y PI548178) se caracterizaron con mejor comportamiento que DT97-4290 frente a *M. phaseolina* (Pawlowski *et al.*, 2015). En nuestro trabajo, las líneas de soja D38M3-13/182, Munasqa RR y D51N59-14/247 fueron las que manifestaron mejor comportamiento frente a *M. phaseolina* cuando fueron evaluadas en ensayos inoculados con el patógeno a campo durante los ciclos agrícolas 2016/2017 y 2017/2018. Estas se comportaron como moderadamente resistentes cuando se utilizó el parámetro severidad para evaluarlas, y como resistentes cuando el comportamiento de las mismas se determinó por medio de el IUFC (Mengistu *et al.*, 2007). Munasqa RR presentó un valor de severidad promedio a campo de 1,6; el genotipo D38M3-13/182 de 1,4; y el cultivar D51N59-14/247 de 1,3 en las dos campañas evaluadas. El valor de severidad de Munasqa RR concuerda con los valores observados durante los ciclos agrícolas 2010/2011 y 2011/2012 (1,0 y 1,2, respectivamente) en ensayos a campo inoculados con *M. phaseolina* (Reznikov *et al.*, 2016). También concuerda con el valor de severidad (1,4) obtenido en la campaña 2013 para el mismo genotipo en un ensayo realizado a campo con inoculación artificial del patógeno (Reznikov *et al.*, 2018a), donde evidenciamos que Munasqa RR tendría una resistencia moderada pero significativamente superior a la manifestada por el genotipo de referencia DT97-4290, no solo en condiciones controladas sino también a campo.

CONCLUSIONES

Este trabajo permitió encontrar nuevas líneas (D38M3-13/182, D51N59-14/247 y Munasqa RR) con

buen comportamiento frente a la podredumbre carbonosa de la soja, las cuales podrían ser utilizadas como progenitores en los programas de mejoramiento genético para incorporar la resistencia frente a *M. phaseolina* y mejorar así el manejo de esta enfermedad en el NOA.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la invaluable colaboración del Ing. Agr. Facundo Daniel en la realización de los ensayos en la localidad de San Agustín, Cruz Alta, Tucumán, Argentina. Este trabajo fue financiado por una beca del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MinCyT), Plataforma BiotecSur – UE, Proyecto BiotecSojaSur I N°: 127119, Proyecto Investigación Regional MERCOSUR BiotecSojaSur II - Convenio MinCyT y Fundación InnovaT - Acta Comp. N° 52, PICTO 35332 de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, y la EEAOC.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Ballen, T. W.; J. P. Damicone; N. S. Dufault; T. R. Faske; D. E. Hershman; C. A. Hollier; T. Isakeit; R. C. Kemerait; N. M. Kleczewski and S. R. Koening. 2016.** Southern United States soybean disease loss estimate for 2015. Proceedings of the Southern Soybean Disease Workers, fortysecond Annual Meeting, Pensacola, FL. p. 11-15. [En línea] Consultado 21 de Noviembre 2018. <https://www.mssoy.org/uploads/files/allen-dis-loss-survey-2016.pdf>.
- Bolsa de Cereales. 2018.** Informe "Cierre de Campaña Soja 2017/2018". [En línea] Consultado 29 de Noviembre 2018]. <http://www.bolsadecereales.com/>.
- Clarín Rural. 2018.** Agricultura. Detectan graves daños

- en la soja por dos patologías. [En línea] Consultado 29 de Noviembre 2018. https://www.clarin.com/rural/detectan-graves-danos-soja-patologias_0_B1TVyTlqf.html.
- Fandos, C.; J. I. Carreras Baldrés; P. Scandaliaris; F. J. Soria; M. R. Devani y D. E. Gamboa. 2018.** Cultivos antecesores de la soja sembrada en la campaña 2017/2018 en Tucumán. Public. Esp. EEAOC (54):137-147.
- Fehr, W. R.; C. E. Caviness; D. T. Burmood and J. S. Pennington. 1971.** Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. Crop Sci. 11: 929-931.
- González, V.; V. De Lisi; S. Reznikov; N. C. Aguaysol; A. C. Jalil; P. Alarcón; M. J. Martínez y L. D. Ploper. 2013.** Panorama sanitario del cultivo de la soja en el Noroeste Argentino durante la campaña 2012/2013. Public. Esp. EEAOC (47):175-177.
- Ivancovich, A.; C. Flores y M. Lavilla. 2016.** Podredumbre carbonosa de la soja, causada por *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid., un hongo oportunista muy dependiente del estrés hídrico y térmico. Estación Experimental Agropecuaria (EEA)-INTA Pergamino.
- Mengistu, A.; K. N. Reddy; N. Bellaloui; E. R. Walker and H. M. Kelly. 2013.** Effect of Glyphosate on *Macrophomina phaseolina* *in vitro* and its effect on disease severity of soybean in the field. Crop Prot. 54: 23-28.
- Mengistu, A.; J. D. Ray; J. R. Smith and R. L. Paris. 2007.** Charcoal rot disease assessment of soybean genotypes using a colony-forming unit index. Crop Sci. 47: 2453-2461.
- Mihail, J. D. 1992.** *Macrophomina*. pp. 134-136. In: L.L. Singleton, J.D. Mihail, and C.M. Rush (Eds.), Methods for Research on Soilborne Phytopathogenic Fungi. APS Press. St. Paul, MN, USA, pp. 265.
- Mihail, J. D. and S. J. Taylor. 1995.** Interpreting variability among isolates of *Macrophomina phaseolina* in pathogenicity, pycnidium production, and chlorate utilization. Can. J. Botany 73: 1596-603.
- Paris, R. L.; A. Mengistu; J. M. Tyler and J. R. Smith. 2006.** Registration of soybean germplasm line DT97-4290 with moderate resistance to charcoal rot. Crop Sci. 46: 2324-2325.
- Pawlowski, M. L.; C. B. Hill and G. L. Hartman. 2015.** Resistance to charcoal rot identified in ancestral soybean germplasm. Crop Sci. 55: 1230-1235.
- Pérez, D.; V. Paredes; G. Rodríguez y M. Devani. 2018.** Cultivo de soja en Tucumán: resultados de la encuesta de soja, rindes de indiferencia 2017/2018 vs. período 2006/07 – 2017/2018 y margen bruto de soja en sucesión con otros cultivos de granos entre 2015/2016 y 2017/2018. Public. Esp. EEAOC (54):149-156.
- Ploper, L. D. 2004.** Economic importance and control strategies for the major soybean diseases in Argentina. En: Proc. World Soybean Research Conference, 7, International Soybean Processing and Utilization Conference 4, Congresso Brasileiro de Soja, 3, Londrina, Paraná, Brasil, pp. 606-614.
- Ploper, L. D. y M. M. Scandiani. 2009.** Visión general de las enfermedades radicales de la soja en Argentina. Page 3 In: CD proceedings V Congresso Brasileiro de Soja e Mercosoja 2009, Mercosoja, Goiânia, Goias, Brasil.
- Ploper, L.; V. González; N. Vázquez de Ramallo; M. Gálvez y M. Devani. 2001.** Presencia de la podredumbre carbonosa del tallo de la soja en el centro y noroeste argentino. Avance Agroind. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres 22: 30-34.
- Reznikov, S.; M. A. Chiesa; E. M. Pardo; V. De Lisi; N. Bogado; V. González; F. Ledesma; E. N. Morandi; L. D. Ploper and A. P. Castagnaro. 2018a.** Soybean - *Macrophomina phaseolina* specific interactions and identification of a novel source of resistance. Phytopathology 109: 63-67.
- Reznikov, S.; G. R. Vellicce; V. González; V. de Lisi; A. P. Castagnaro and L. D. Ploper. 2016.** Evaluation of chemical and biological seed treatments to control charcoal rot of soybean. J. Gen. Plant Pathol. 82: 273-280.
- Reznikov, S.; G. R. Vellicce; A. Mengistu; R. S. Arias; V. González; V. De Lisi; M. G. García; C. M. L. Rocha; E. M. Pardo; A. P. Castagnaro and L. D. Ploper. 2018b.** Disease incidence of charcoal rot (*Macrophomina phaseolina*) on soybean in north-western Argentina and genetic characteristics of the pathogen. Can. J. Plant Pathol. 1-11.
- Romero Luna, M. P.; D. Mueller; A. Mengistu; A. K. Singh; G. L. Hartman and K. A. Wise. 2017.** Advancing our understanding of charcoal rot in soybeans. Journal of Integrated Pest Management 8 (1).
- Su, G.; S. O. Suh; R. W. Schneider and J. S. Russin. 2001.** Host specialization in the charcoal rot fungus, *Macrophomina phaseolina*. Phytopathology 91: 120-126.
- USDA. 2018.** World agricultural production. Circular series. WAP 12-18. [En línea]. Consultado 11 de enero 2019.
- Wrather, A.; G. Shannon; R. Balardin; L. Carregal; R. Escobar; G. Gupta; Z. Ma; W. Morel; D. Ploper and A. Tenuta. 2010.** Effect of diseases on soybean yield in the top eight producing countries in 2006. Plant Health Progress. Online publication. doi:10.1094/PHP-2010-0125-01-RS.