

# Resistencia de líneas de soya a *Alternaria* spp., *Septoria glycines* y marchitez por enfermedades del suelo

Resistance of soybean lines to *Alternaria* spp.,  
*Septoria glycines* and witching from soil diseases

Juan Samuel Guadalupe Jesús Alcalá Rico<sup>1\*</sup> , Nicolás Maldonado Moreno<sup>1</sup> , Julio César García Rodríguez<sup>1</sup> ,  
Neymar Camposeco Montejo<sup>2</sup>  y Julio César Tafolla Arellano<sup>3</sup> 

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias - Campo Experimental Las Huastecas, Carretera Tampico-Mante km 55, CP. 89610. Villa Cuauhtémoc, Tamaulipas, México.

<sup>2</sup> Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, CP. 25315. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

<sup>3</sup> Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, CP. 25315. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

## ABSTRACT

The objective of the present study was to determine the soybean lines resistant to the incidence of *Alternaria* spp., *Septoria glycines* and wilt by soil diseases (WBSD), as well as their relationship with yield. 40 genotypes were used (36 advanced lines and four soybean varieties). At phenological cover R7 of each genotype, incidence data were taken through a scale of 1 to 5, where 1 were healthy plants and 5 plants with  $\leq 100\%$  incidence by the disease. On average *Alternaria* spp. had higher incidence in the lines. In addition, the first two principal components explained 81.8 % of the total variation. Lines G9, G22, G26, G27, G31, G33 and G34 stood out for their low incidence of *Septoria glycines*. Under the same condition, Huasteca 700 with *Alternaria* spp. and lines G28 and G32 stood out for being WBSD. The relationship of the lines allowed the formation of two groups (A: susceptible and B: resistant), which in turn were divided into two and three subgroups, respectively. It was also determined that these diseases showed a negative correlation with yield, with *Septoria glycines* being the disease that had the greatest direct negative effect on yield.

**Keywords:** *Glycine max*; incidence; pathogens; subhumid tropics.

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar las líneas de soya resistentes a la incidencia de *Alternaria* spp., *Septoria glycines* y marchitez por enfermedades del suelo (MPES), así como su relación con el rendimiento. Se utilizaron 40 genotipos (36 líneas avanzadas y cuatro variedades de soya). En la tapa fenológica R7 de cada genotipo, se tomaron datos de la incidencia a través de una escala de 1 a 5 donde 1 fueron plantas sanas y 5 plantas con  $\leq 100\%$  de incidencia por la enfermedad. En promedio *Alternaria* spp. tuvo mayor incidencia en las líneas. Además, los primeros dos componentes principales explicaron el 81.8 % de la variación total. Las líneas G9, G22, G26, G27, G31, G33 y G34 destacaron por su baja incidencia de *Septoria glycines*. Bajo la misma condición sobresalió Huasteca 700 con *Alternaria* spp. y las líneas G28 y

G32 al tratarse de MPES. La relación de las líneas permitió formar dos grupos (A: susceptibles y B: resistentes), que a su vez se dividieron en dos y tres subgrupos, respectivamente. Así mismo, se determinó que estas enfermedades presentaron una correlación negativa con el rendimiento, siendo *Septoria glycines* la enfermedad que presentó mayor efecto directo negativo sobre el rendimiento.

**Palabras clave:** *Glycine max*; incidencia; patógenos; trópico subhúmedo.

## INTRODUCCIÓN

La soya [*Glycine max* (L.) Merr.] es un cultivo importante en el mundo por el contenido de proteína (40 %), aceite (20 %), vitaminas, minerales, lisina y otros aminoácidos esenciales que contiene su grano (Dubey *et al.*, 2018; Jeong *et al.*, 2019). En el año 2022, en México produjeron 175,544 t, sin embargo, para satisfacer las necesidades del país se tuvieron que importar 6,442,000 t, lo que indica que la demanda nacional es de 6,617,544 t y solo se produce el 2.7 % (SIAP, 2024; USDA, 2024). Una de las causas que reducen y amenazan la producción de soya son los factores bióticos como las enfermedades, que aunado a los cambios climáticos incrementan la posibilidad de incidencia (Fagodiya *et al.*, 2022). En este sentido, *Alternaria* spp. ha provocado pérdidas significativas en la soya manifestándose en manchas necróticas marrones con anillos concéntricos que se unen y forman grandes áreas necróticas en los folíolos (Kamthane y Rakh, 2013). Por otro lado, la mancha marrón causada por *Septoria glycines* Hemmi se encuentra en todas las zonas productoras de soya y es considerada una de las 10 más destructivas con relación a la pérdida de rendimiento, se presenta en forma de manchas oscuras e irregulares rodeadas de clorosis en las hojas (Allen *et al.*, 2017; Lin y Mideros, 2021). Por último, pero no menos importante la marchitez causada por un complejo de enfermedades del suelo (*Fusarium* spp. y *Phytophthora sojae*) que atacan la raíz y causan el marchitamiento prematuro de las plantas causando pérdidas sustanciales en la producción de la soya (Chen y Wang, 2017; Zhao *et al.*, 2022). A pesar de que existen fungicidas que permiten el control de enfermedades

\*Autor para correspondencia: Juan Samuel Guadalupe Jesús Alcalá Rico  
Correo-e: alcalá.juan@inifap.gob.mx

Recibido: 26 de junio de 2024

Accepted: 21 de noviembre de 2024

Published: 22 de enero de 2025

al mismo tiempo no son seguros para los seres humanos, animales y pueden tener un efecto adverso en el ambiente. Una alternativa para contrarrestar estos factores adversos y dar un enfoque ecológico, amigable y sustentable con el medio ambiente es por medio del mejoramiento genético y del uso de herramientas biotecnológicas (selección asistida por marcadores, GWAS, CRISPR/Cas9-CAS, etc) donde se buscan fuentes de resistencia que permitan un buen desarrollo y producción del cultivo. Es por lo que el mejoramiento en cultivos oleaginosos se enfoca en desarrollar variedades que se adapten a diferentes ambientes y que presenten resistencia a factores bióticos y abióticos, con la finalidad de mejorar el rendimiento e incrementar el porcentaje de aceite y su calidad (Rathnakumar y Sujatha, 2022). Con respecto a la resistencia a enfermedades, el fitomejoramiento es considerado un método para proteger los cultivos del daño causado por los patógenos (Johnson, 1992). Esta resistencia puede ser vertical u horizontal, la primera confiere resistencia completa a algunos patógenos, mientras que son susceptibles a otros, sin embargo, no es duradera y se puede romper por el cambio de las poblaciones del patógeno; por otro lado, la resistencia horizontal también conocida como resistencia parcial o tolerancia es controlada por muchos genes de efecto pequeño que permiten la resistencia a múltiples enfermedades de la soya y es más duradera (Lin *et al.*, 2022). Así mismo, la resistencia para *Alternaria* spp. y complejo de enfermedades del suelo está condicionada por uno o pocos genes dominantes, lo que permite que tenga alta heredabilidad; por otra parte, la resistencia hacia *Septoria glycines* está dada por varios genes con menor efecto, teniendo baja a media heredabilidad (Stephens *et al.*, 1993; Brogin *et al.*, 2003; Fronza *et al.*, 2004; Schneider *et al.*, 2016; Meena *et al.*, 2017). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la resistencia de líneas de soya a la incidencia de *Alternaria* spp., *Septoria Glycines* y marchitez por enfermedades del suelo, así como su relación con el rendimiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del sitio experimental

El experimento se realizó bajo condiciones de temporal en el Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Las Huastecas que se localiza en las coordenadas 22°33'57.88"N y 98°09'52.47"O con una altitud de 17 msnm. Presenta un suelo vertisol con clima trópico subhúmedo cálido con lluvias en verano, humedades relativas de 74.6 a 83.4 %, temperaturas de 15 a 33 °C con un promedio de 24.4 °C y una precipitación media anual de 1,000 mm. Estas condiciones ambientales favorecen el desarrollo de *Alternaria* spp. (Bassimba *et al.*, 2014), *Septoria glycines* (Lin *et al.*, 2020) y enfermedades del suelo (Giachero *et al.*, 2022; Yan y Nelson, 2022).

### Material vegetal

Se utilizaron 36 líneas avanzadas de soya pertenecientes a la evaluación preliminar de rendimiento del programa de me-

joramiento genético de soya, las cuales presentan distintas características de interés agronómico. Adicionalmente, se incluyeron como testigos cuatro variedades desarrolladas en el INIFAP: Huasteca 200 (T1), Huasteca 400 (T2), Huasteca 600 (T3) y Huasteca 700 (T4).

### Manejo

La preparación del terreno constó de un barbecho a 30 cm de profundidad, seguido de dos pasos de rastra 20 d después del barbecho y surcado a 76 cm. La siembra se realizó a capacidad de campo en el lomo del surco a una densidad de 250,000 plantas ha<sup>-1</sup>.

### Diseño experimental

La distribución de las líneas se realizó por medio de un diseño experimental de bloques completamente al azar con dos repeticiones. Cada parcela constó de dos surcos de 4 m, teniendo una parcela útil de 3 m centrales. Cabe mencionar que en el sitio experimental cada año en el ciclo primavera-verano se siembra el mismo cultivo, dejándolo descansar en otoño-invierno.

### Variables a evaluar

En la etapa fenológica R7 se tomaron datos de la incidencia de las enfermedades *Alternaria* spp., *Septoria glycines* y marchitez por enfermedades del suelo (MPES). La identificación de los patógenos se realizó considerando la sintomatología en plantas enfermas y las características morfológicas del patógeno. La evaluación se realizó utilizando una escala ordinal cuantitativa (Bock *et al.*, 2020; Hartung y Piepho, 2007), utilizando valores de 1 a 5 donde 1: eran líneas completamente sanas (resistente), 2: líneas con ≤ 25 % de incidencia por la enfermedad (moderadamente resistente), 3: líneas con ≤ 50 % (moderadamente susceptible), 4: líneas con ≤ 75 % (susceptible) y 5: líneas con ≤ 100 % de incidencia por la enfermedad (altamente susceptible). Por otra parte, a la cosecha se obtuvo el peso de campo en gramos y el porcentaje de humedad para posteriormente estimar el rendimiento en t ha<sup>-1</sup>.

### Análisis estadísticos

Los datos de incidencia de enfermedades en las líneas de soya fueron analizados con del software R versión 4.3. Se realizaron análisis de componentes principales a través de la función prcomp, análisis clúster utilizando distancia euclidiana como método de aglomeración completo expresado por medio de un dendrograma con la función dist y hclust. En lo que respecta al análisis de senderos se siguió la metodología descrita por Wright (1934), donde la variable de respuesta fue el rendimiento y las variables causales la incidencia de las enfermedades *Alternaria* spp., *Septoria glycines* y MPES.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con la Tabla 1, se pudo observar que en promedio hubo mayor incidencia de *Alternaria* spp. superando a *Septo-*



*ria glycines* en un 40 % y a la MPES con 32.7 %. En relación con lo anterior, Fagodiya *et al.* (2022) mencionan que *Alternaria* es una de las enfermedades foliares con mayor nivel de destrucción en zonas productoras de soja y su patogenicidad ha ido incrementando con el cambio climático.

**Tabla 1.** Componentes de variación de incidencia a enfermedades en líneas de soja avanzadas.

**Table 1.** Variance components of disease incidence in advanced soybean lines.

	<i>Alternaria</i> spp.	<i>Septoria glycines</i>	MPES
Promedio	34.375	20.625	23.125
Desviación estándar	26.966	21.098	18.246
Máxima	75	50	50
Mínima	0	0	0

MPES: marchitez por enfermedades del suelo.

En cuanto a los componentes principales (CP), los dos primeros CP lograron explicar el 81.8 % de la variación total, siendo el CP1 quien explicó la mayor parte con 53.7 % seguido del CP2 que explicó el 28.1 % (Tabla 2). Esto coincide con Dubey *et al.* (2018) quienes encontraron que en los primeros componentes principales se registró la mayor variación al evaluar diferentes caracteres de la soja. Mientras tanto, Kumar *et al.* (2015) mencionan que los componentes principales son una poderosa técnica para la reducción de datos.

**Tabla 2.** Varianza explicada por los componentes principales.

**Table 2.** Variance explained by the principal components.

	CP1	CP2	CP3
Desviación estándar	1.137	0.823	0.662
Valores propios	1.293	0.677	0.438
Proporción de varianza	53.677	28.126	18.197
Proporción de varianza acumulada	53.677	81.803	100

Con relación a la matriz de componentes rotados, las enfermedades *Alternaria* spp. y MPES se encuentran más asociadas con el CP1. En contraste, *Septoria glycines* está mayormente relacionada con el CP2 (Tabla 3).

**Tabla 3.** Valores de los dos primeros componentes principales de la matriz de rotación para enfermedades.

**Table 3.** Values of the first two principal components of the rotation matrix for diseases.

Enfermedades	CP1	CP2
<i>Alternaria</i> spp.	-0.902	0.352
<i>Septoria glycines</i>	-0.288	-0.922
Marchitez por enfermedades del suelo	-0.321	-0.162

Así mismo, el 61.1 % de las líneas avanzadas de soja pertenecientes a la evaluación preliminar de rendimiento se asociaron con el CP1 y el resto se asoció con el CP2. Indicando que las primeras tuvieron valores muy altos o bajos con respecto a la incidencia de *Alternaria* spp. y MPES, sin embargo, las segundas presentaron la misma condición con

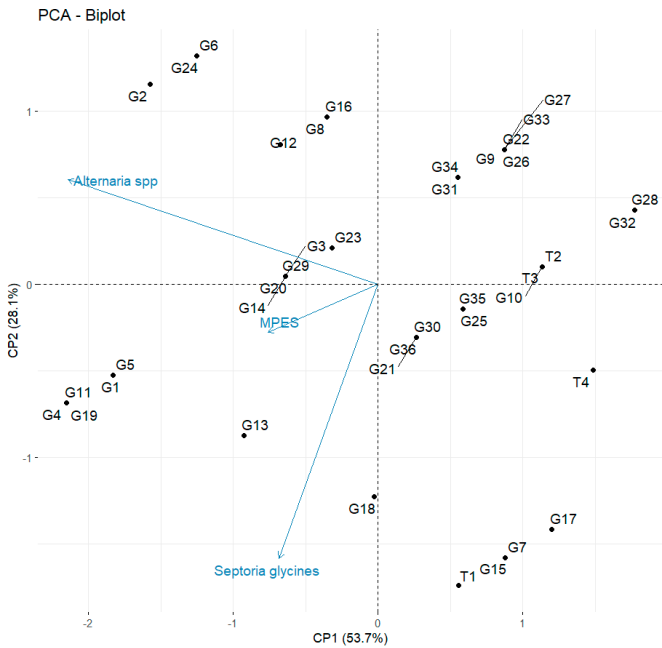
*Septoria glycines*. Cabe señalar que el 75 % de los testigos se relacionó con el CP1 (Tabla 4). Dubey *et al.* (2018) mencionan que la puntuación de los componentes principales para un genotipo denota los valores para los caracteres evaluados en ese genotipo.

**Tabla 4.** Puntajes del análisis de los dos primeros componentes principales de líneas de soja.

**Table 4.** Scores of the analysis of the first two principal components of soybean lines.

Línea	CP1	CP2	Línea	CP1	CP2
G1	-1.828	-0.524	G21	0.264	-0.305
G2	-1.574	1.158	G22	0.873	0.779
G3	-0.638	0.046	G23	-0.317	0.209
G4	-2.149	-0.686	G24	-1.253	1.320
G5	-1.828	-0.524	G25	0.585	-0.143
G6	-1.253	1.320	G26	0.873	0.779
G7	0.879	-1.579	G27	0.873	0.779
G8	-0.351	0.968	G28	1.775	0.427
G9	0.873	0.779	G29	-0.638	0.046
G10	1.133	0.102	G30	0.264	-0.305
G11	-2.149	-0.686	G31	0.552	0.617
G12	-0.672	0.806	G32	1.775	0.427
G13	-0.926	-0.876	G33	0.873	0.779
G14	-0.638	0.046	G34	0.552	0.617
G15	0.879	-1.579	G35	0.585	-0.143
G16	-0.351	0.968	G36	0.264	-0.305
G17	1.200	-1.417	T1	0.557	-1.741
G18	-0.024	-1.227	T2	1.133	0.102
G19	-2.149	-0.686	T3	1.133	0.102
G20	-0.638	0.046	T4	1.487	-0.495

En la Figura 1 se observó la distribución de las líneas en los cuatro cuadrantes indicando que existe variabilidad genética relacionada con incidencia de enfermedades. El primer cuadrante (superior derecho) indicó aquellos genotipos que presentaron baja incidencia a *Septoria glycines* y MPES. En el segundo cuadrante (superior izquierdo) se concentraron los genotipos que presentaron mayor incidencia de *Alternaria* spp. En el tercer cuadrante (inferior izquierdo) se dispersaron los genotipos con mayor afectación por *Septoria glycines* y MPES. En el cuarto cuadrante (inferior derecho) estuvieron los genotipos que tuvieron baja incidencia de *Alternaria* spp. En este sentido, Malek *et al.* (2014) mencionan que esta diversidad genética es de vital importancia para el mejoramiento de los cultivos. Considerándose la opción más apropiada y viable para minimizar las pérdidas económicas a través del desarrollo de variedades resistentes. Esto coincide con Mundhe *et al.* (2022) quienes mencionan que los recursos genéticos juegan un papel importante en el desarrollo de nuevas variedades. De manera particular, las líneas G13, G18, G7, G15 y G7 fueron mayormente afectadas por *Septoria glycines*. En lo que respecta a las líneas que presentaron menor o nula afectación por esta enfermedad fueron G9,



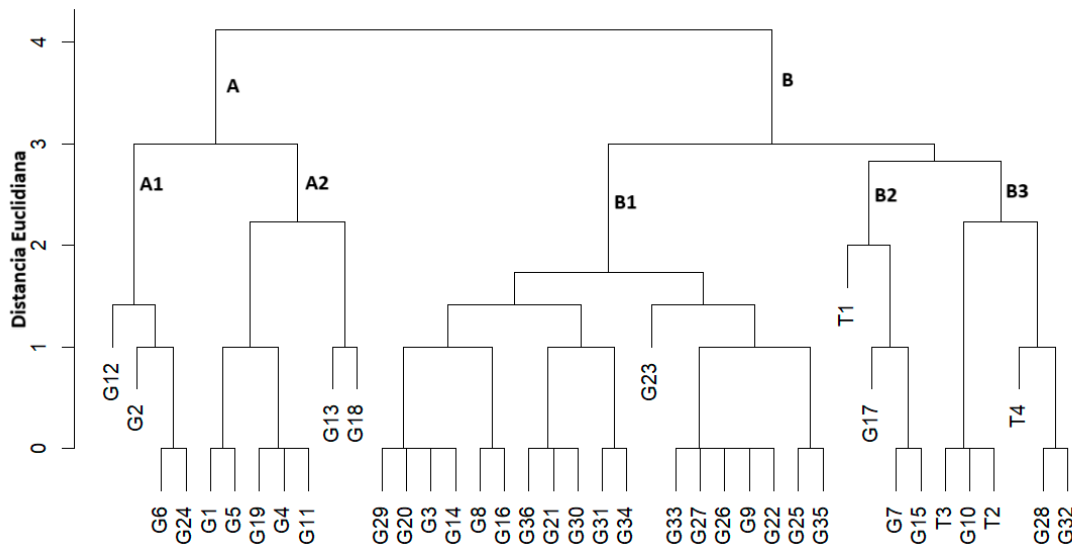
**Figura 1.** Biplot del comportamiento de líneas de soja de acuerdo a la incidencia de enfermedades.

**Figure 1.** Biplot of soybean line performance according to disease incidence.

G22, G26, G27, G31, G33 y G34. Por otro lado, las líneas G2, G6, G24, G3, G14 y G20 presentaron mayor susceptibilidad a *Alternaria* spp. Sin embargo, la línea con menor afectación por la enfermedad fue T4. En lo que se refiere a la MPES tuvo mayores afectaciones en las líneas G4, G11 y G19. No obstante, las líneas G28 y G32 no tuvieron incidencia de marchitez causada por hongos del suelo. En general, las líneas G4, G11, G19, G1 y G5 son susceptibles a las tres enfermedades estudiadas (MPES, *Alternaria* spp. y *Septoria glycines*). Ocurriendo todo lo contrario con las líneas G28 y G32 quienes no presentaron ningún síntoma de enfermedad. Por otra parte, se encontró una relación positiva de la MPES con *Alternaria* spp.

y *Septoria glycines*. Sin embargo, entre estas dos últimas no hubo asociación. Para este estudio la enfermedad con mayor potencial de discriminación fue *Alternaria* spp. seguido de *Septoria glycines*. Con respecto a lo anterior, los componentes principales y su expresión gráfica fueron de utilidad para la interpretación del comportamiento de las líneas de soja a través de su resistencia hacia las enfermedades evaluadas. En este aspecto, Jolliffe y Cadima (2016) mencionan que los componentes principales pueden reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos, facilitando la interpretación de estos y minimizando la pérdida de información. Así mismo, Frutos *et al.* (2014) indican que los biplots son gráficos que permiten analizar y visualizar información multivariante utilizando los componentes principales.

La relación que tienen las líneas de soja de acuerdo con su resistencia a las enfermedades estudiadas se representa en la Figura 2, donde se pudo observar que se formaron dos grupos A y B. El grupo A estuvo conformado por 11 líneas de soja que representaron el 27.5 % del total, las cuales se pueden considerar como susceptibles a las enfermedades estudiadas. Este grupo se dividió en dos subgrupos (A1 y A2), en el primero se encuentra el 10 % de líneas que se caracterizaron por tener  $\leq 75$  % de incidencia en *Alternaria* spp., no presentar incidencias de *Septoria glycines* y tener entre  $\leq 25$  de incidencia en MPES y el segundo integrado por el 17.5 % de las líneas con una incidencia promedio de  $\leq 75$  % en *Alternaria* spp.,  $\leq 50$  % en *Septoria glycines* y  $\leq 25$  % en MPES. El grupo B estuvo conformado por la mayoría de las líneas, representando el 72.5 % y considerándose como resistentes. En este grupo se tuvieron tres subgrupos: B1, B2 y B3. En el grupo B1 se encuentran casi la mitad de las líneas (47.5 %) con  $\leq 25$  % de incidencia de las enfermedades estudiadas. El grupo B2 estuvo conformado por el 10 % de las líneas, las cuales no presentaron incidencia por *Alternaria* spp., sin embargo, tuvieron  $\leq 50$  % de incidencia por *Septoria glycines* y  $\leq 25$  % de MPES. En el grupo B3 se integró el 15



**Figura 2.** Relación de líneas de soja de acuerdo con su resistencia a enfermedades.

**Figure 2.** Relationship of soybean lines according to disease resistance.

% de las líneas que tuvieron la particularidad de tener nula incidencia de *Alternaria* spp. y *Septoria glycines*, aunque presentaron  $\leq 25$  % de MPES. Cabe destacar que el 25 % y 75 % de las variedades se encuentran en el grupo B2 y B3, respectivamente; indicando su alta capacidad de resistencia hacia las enfermedades estudiadas, esto pudo deberse a que el programa de mejoramiento genético de soya del INIFAP ha desarrollado las variedades adaptadas a región considerando la resistencia a las enfermedades más comunes (Maldonado *et al.*, 2010; Maldonado y Luciano, 2010; Maldonado *et al.*, 2017; Maldonado-Moreno *et al.*, 2019). Por lo anterior, aquellas líneas cercanas pudieran ser candidatas al desarrollo de una nueva variedad con resistencia a las principales enfermedades de la región.

En la Tabla 5 se observó una asociación negativa entre el rendimiento y la incidencia de enfermedades, indicando que, al incrementar la incidencia de alguna de estas enfermedades, afectará al rendimiento causando un decremento. En este sentido, en el análisis de senderos se identificó a *Septoria glycines* como la enfermedad con el máximo efecto directo negativo sobre el rendimiento seguido de la MPES. Por otra parte, la correlación de -0.27 entre *Alternaria* spp. y el rendimiento se debió principalmente al efecto indirecto de *Alternaria* spp. a través de la enfermedad *Septoria glycines*. Lavilla y Ivancovich (2021), mencionan que las enfermedades foliares o de raíz atacan al cultivo de soya desde la siembra hasta la cosecha ocasionando afectaciones en su producción.

**Tabla 5.** Análisis de coeficiente de sendero de la incidencia de enfermedades en relación al rendimiento en soya.

**Table 5.** Path coefficient analysis of disease incidence in relation to soybean yields.

	<i>Alternaria</i> Spp.	<i>Septoria</i> <i>glycines</i>	MPES	Correlación con Rendimiento
<i>Alternaria</i> spp.	0.21	-0.31	-0.17	-0.27
<i>Septoria glycines</i>	0.12	-0.57	-0.09	-0.54
MPES	0.12	-0.18	-0.30	-0.36
$e = 0.802$				

Los efectos directos están en la diagonal, fuera de la diagonal se anotan los efectos indirectos, el símbolo  $e$  denota el efecto residual, MPES: marchitez por enfermedades del suelo

## CONCLUSIONES

La incidencia de las enfermedades *Alternaria* spp., *Septoria glycines* y MPES están relacionadas con el bajo rendimiento. Las líneas G28 y G32 se consideraron resistentes al presentar poca o nula incidencia hacia estas enfermedades, por lo que se recomienda que estas líneas se avancen a la siguiente etapa de mejoramiento genético. Mientras que las líneas G17, G7, G15 y G10 presentaron resistencia moderada, por lo que es necesario seguir incrementando esta resistencia a través presión de selección en ambientes propicios para el desarrollo de estas enfermedades.

## CONFLICTO DE INTERES

Los autores firmantes del presente trabajo de investigación declaran no tener ningún potencial conflicto de interés per-

sonal o económico con otras personas u organizaciones que puedan influir indebidamente con el presente manuscrito.

## REFERENCIAS

- Allen, T.W., Bradley, C.A., Sisson, A.J., Byamukama, E., Chilvers, M.I., Coker, C.M., Collins, A.A., Damicone, J.P., Dorrance, A.E., Dufault, N.S., Esker, P.D., Faske, T.R., Giesler, L.J., Grybauskas, A.P., Hershman, D.E., Hollier, C.A., Isakeit, T., Jardine, D.J., Kelly, H.M., Kemerait, R.C., Kleczewski, N.M., Koenning, S.R., Kurle, J.E., Malvick, D.K., Markell, S.G., Mehl, H.L., Mueller, D.S., Mueller, J.D., Mulrooney, R.P., Nelson, B.D., Newman, M.A., Osborne, L., Overstreet, C., Padgett, G.B., Phipps, P.M., Price, P.P., Sikora, E.J., Smith, D.L., Spurlock, T.N., Tande, C.A., Tenuta, A.U., Wise, K.A. y Wrather, J.A. 2017. Soybean yield loss estimates due to diseases in the United States and Ontario, Canada, from 2010 to 2014. *Plant Health Progress*. 18(1): 19-27. <https://doi.org/10.1094/PHP-RS-16-0066>
- Bassimba, D.D.M., Mira, J.L. y Vicent, A. 2014. Inoculum sources, infection periods, and effects of environmental factors on *Alternaria* brown spot of mandarin in Mediterranean climate conditions. *Plant Disease*. 98(3): 409-417. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-13-0956-RE>
- Bock, C.H., Barbedo, J.G.A., Del Ponte, E.M., Bohnenkamp, D. y Mahlein, A.K. 2020. From visual estimates to fully automated sensor-based measurements of plant disease severity: status and challenges for improving accuracy. *Phytopathology Research*. 2(1): 1-30. <https://doi.org/10.1186/S42483-020-00049-8>
- Brogini, R.L., Arrabal, A.C.A. y Ferraz, de T.F. 2003. Genetic control of soybean resistance to brown spot (*Septoria glycines*): first studies. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. 3(1): 35-44. Disponible en: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/459254>
- Chen, X. y Wang, Y. 2017. *Phytophthora sojae*. En: Biological Invasions and Its Management in China. Wan, F., Jiang, M., Zhan, A. (eds), pp 199-224. *Invading Nature - Springer Series in Invasion Ecology*, vol 13. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-3427-5\\_15](https://doi.org/10.1007/978-981-10-3427-5_15)
- Dubey, N., Avinash, H.A. y Shrivastava, A.N. 2018. Principal component analysis in advanced genotypes of soybean [*Glycine max* (L.) merrill] over seasons. *Plant Archives*. 18(1): 501-506. Disponible en: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20183312344>
- Fagodiya, R.K., Trivedi, A. y Fagodia, B.L. 2022. Impact of weather parameters on *Alternaria* leaf spot of soybean incited by *Alternaria alternata*. *Scientific Reports*. 12(1): 6131. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10108-z>
- Fronza, V., Vello, N.A. y Camargo, L.E.A. 2004. Genetic analysis of soybean resistance to *Fusarium solani* f.sp. *glycines*. *Genetics and Molecular Biology*. 27(3): 400-408. <https://doi.org/10.1590/S1415-4752004000300016>
- Frutos, E., Galindo, M.P. y Leiva, V. 2014. An interactive biplot implementation in R for modeling geno-type-by-environment interaction. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 28(7): 1629-1641. <https://doi.org/10.1007/S00477-013-0821-Z/FIGURES/6>
- Giachero, M.L., Declerck, S. y Marquez, N. 2022. *Phytophthora* root rot: Importance of the disease, current and novel methods of control. *Agronomy*. 12(3): 610. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY12030610>

- Hartung, K. y Piepho, H.P. 2007. Are ordinal rating scales better than percent ratings? A statistical and "psychological" view. *Euphytica*. 155: 15-26. <https://doi.org/10.1007/s10681-006-9296-z>
- Jeong, S.C., Moon, J.K., Park, S.K., Kim, M.S., Lee, K., Lee, S.R., Jeong, N., Choi, M.S., Kim, N., Kang, S.T. y Park, E. 2019. Genetic diversity patterns and domestication origin of soybean. *Theoretical and Applied Genetics*. 132(4): 1179-1193. <https://doi.org/10.1007/s00122-018-3271-7>
- Johnson, R. 1992. Past, present and future opportunities in breeding for disease resistance, with examples from wheat. *Euphytica*. 63: 3-22. <https://doi.org/10.1007/BF00023908>
- Jolliffe, I.T. y Cadima, J. 2016. Principal component analysis: A review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 374 (2065): 20150202. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>
- Kamthane, D.C. y Rakh, R.R. 2013. Studies on percent incidence and severity index of *Alternaria blight* of soybean of parbhani district. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology & Environmental Sciences*. 15(3): 615-619. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/289869052\\_Studies\\_on\\_percent\\_incidence\\_and\\_severity\\_index\\_of\\_Alternaria\\_blight\\_of\\_soybean\\_of\\_Parbhani\\_district](https://www.researchgate.net/publication/289869052_Studies_on_percent_incidence_and_severity_index_of_Alternaria_blight_of_soybean_of_Parbhani_district)
- Kumar, A., Pandey, A., Aochen, C. y Pattanayak, A. 2015. Evaluation of genetic diversity and interrelationships of agro-morphological characters in soybean (*Glycine max*) genotypes. *Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B - Biological Sciences*. 85(2): 397-405. <https://doi.org/10.1007/s40011-014-0356-1>
- Lavilla, M. y Ivancovich, A. 2021. Relationship among diseases and grain yield in soybean. *Agronomia Mesoamericana*. 32(2): 479-486. <https://doi.org/10.15517/am.v32i2.44057>
- Lin, F., Chhapekar, S.S., Vieira, C.C., Da Silva, M.P., Rojas, A., Lee, D., Liu, N., Pardo, E.M., Lee, Y.C., Dong, Z., Pin-heiro, J.B., Ploper, L.D., Rupe, J., Chen, P., Wang, D. y Nguyen, H.T. 2022. Breeding for disease resistance in soybean: a global perspective. *Theoretical and Applied Genetics* 2022 135:11, 135(11), 3773-3872. <https://doi.org/10.1007/S00122-022-04101-3>
- Lin, H.A. y Mideros, S.X. 2021. Accurate quantification and detection of *Septoria glycines* in soybean using quantitative PCR. *Current Plant Biology*. 25: 100192. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2020.100192>
- Lin, H.A., Villamil, M.B. y Mideros, S.X. 2020. Characterization of *Septoria brown spot* disease development and yield effects on soybean in Illinois. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 43(1): 62-72. <https://doi.org/10.1080/07060661.2020.1755366>
- Maldonado, M.N., Ascencio, L.G. y García, R.J.C. 2017. Huasteca 600, variedad de soya para el sur de Tamaulipas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8(8): 1897-1904. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i8.713>
- Maldonado, M.N. y Luciano, G.A. 2010. Huasteca 200, variedad de soya de baja sensibilidad al fotoperiodo corto para el trópico de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 1(5): 707-714. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342010000500010&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342010000500010&script=sci_arttext)
- Maldonado, M.N., Luciano, G.A. y Gill, L.R.H. 2010. Huasteca 400, nueva variedad de soya para el sur de Tamaulipas, oriente de San Luis Potosí y norte de Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 1(5): 687-692. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342010000500007&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342010000500007&script=sci_arttext)
- Maldonado-Moreno, N., Ascencio-Luciano, G. y García-Rodríguez, J. C. 2019. Huasteca 700, variedad de soya para el sur de Tamaulipas, México. *Revista Fitotecnica Mexicana*. 42(1): 71-73. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73802019000100071&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73802019000100071&script=sci_arttext)
- Malek, M.A., Rafii, M.Y., Shahida Sharmin Afroz, M., Nath, U.K. y Mondal, M.M.A. 2014. Morphological characterization and assessment of genetic variability, character association, and divergence in soybean mutants. *Scientific World Journal*. 2014 (1): 968796. <https://doi.org/10.1155/2014/968796>
- Meena, M., Gupta, S.K., Swapnil, P., Zehra, A., Dubey, M.K. y Upadhyay, R.S. 2017. *Alternaria* toxins: Potential virulence factors and genes related to pathogenesis. *Frontiers in Microbiology*, 8(AUG), 281961. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2017.01451/BIBTEX>
- Mundhe, S., Patil, R., Oak, M. y Jaybhay, S. 2022. Accelerating soybean improvement through genomics-assisted breeding. In *Accelerated Plant Breeding, Volume 4: Oil Crops*. Gosal, S.S., Wani, S.H. (eds), pp 41-62. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-81107-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-81107-5_2)
- Rathnakumar, A.L. y Sujatha, M. 2022. Breeding major oilseed crops: Prospects and future research needs. En *Accelerated Plant Breeding, Volume 4: Oil Crops*. Gosal, S.S., Wani, S.H. (eds), pp 1-40. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-81107-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-81107-5_1)
- Schneider, R., Rolling, W., Song, Q., Cregan, P., Dorrance, A.E. y McHale, L.K. 2016. Genome-wide association mapping of partial resistance to *Phytophthora sojae* in soybean plant introductions from the Republic of Korea. *BMC Genomics*. 17(1): 1-14. <https://doi.org/10.1186/S12864-016-2918-5>
- SIAP. 2024. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Avance de Siembras y Cosechas. [Consultado 10 junio 2024]. Disponible en: [https://nube.siap.gob.mx/avance\\_agricola/](https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/)
- Stephens, P.A., Nickell, C.D. y Kolb, F.L. 1993. Genetic analysis of resistance to *Fusarium solani* in soybean. *Crop Science*. 33(5): 929-930. <https://doi.org/10.2135/CROPSCI1993.0011183X003300050010X>
- USDA. 2024. Foreign Agricultural Service U.S. Department of Agriculture. Oilseeds: World Markets and Trade. [Consultado 10 junio 2024]. Disponible en: <https://fas.usda.gov/>
- Wright, S. 1934. The method of path coefficients. *The Annals of Mathematical Statistics*. 5(3): 161-215. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/2957502>
- Yan, H. y Nelson, B. 2022. Effects of soil type, temperature, and moisture on development of *Fusarium* root rot of soybean by *Fusarium solani* (FSSC 11) and *Fusarium tricinctum*. *Plant Disease*. 106(11): 2974-2983. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-21-2738-RE>
- Zhao, L., Wei, X., Zheng, T., Gou, Y.N., Wang, J., Deng, J.X. y Li, M.J. 2022. Evaluation of pathogenic *Fusarium* spp. associated with soybean seed (*Glycine max*) in Hubei Province, China. *Plant Disease*. 106(12): 3178-3186. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-21-2793-RE>