

Avances en el estudio de la roya asiática de la soya (*Phakopsora pachyrhizi*) en México

Advances on the study of Asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Mexico

García-Rodríguez Julio César^{1✉}, Ascencio-Luciano Guillermo¹, Antonio Palemón Terán-Vargas¹, Nicolás Maldonado-Moreno¹, José Eduardo de-la-Rosa-Flores²

¹Campo Experimental Las Huastecas-INIFAP. Carretera Tampico-Mante km 55, Villa Cuauhtémoc, Altamira, Tamaulipas. C.P. 89610. Tel. 01-55-38718700, Ext. 83319.

²Instituto Tecnológico de Altamira. Carretera Tampico-Mante Km 24.5. Altamira, Tam. 89600.

✉ Autor para correspondencia: garcia.juliocesar@inifap.gob.mx

Recibido: 15/03/2018

Aceptado: 13/05/2018

RESUMEN

El primer reporte de la roya asiática de la soya (*Phakopsora pachyrhizi*) en México fue en el 2005. Las pérdidas de rendimiento por la enfermedad oscilan entre el 25 y el 80 %, por lo que el uso del control químico constituye la estrategia principal para reducir el riesgo. Tamaulipas produce la mayor parte de soya en el país, pero también posee el período más largo con condiciones climáticas favorables para la infección del cultivo por el patógeno. Dado que todas las variedades de soya que se cultivan en México son susceptibles a la roya asiática, el costo por la aplicación de fungicidas es elevado. La siembra de variedades de soya resistentes a la roya asiática se considera la estrategia más rentable para su manejo. El presente trabajo muestra los avances en el estudio de la roya asiática de la soya en México, considerando los puntos: descubrimiento y dispersión de la roya asiática de la soya, sintomatología y condiciones para el desarrollo del patógeno, estrategias de manejo para su control y estudios de patogenicidad y resistencia genética a *P. pachyrhizi*.

Palabras clave: *Glycine max* (L.) Merr., *Phakopsora pachyrhizi*, patogenicidad, resistencia, control químico.

ABSTRACT

The first report of Asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Mexico was in 2005. Yield losses by the disease range between 25 and 80 %, so the use of chemical control is the main strategy to reduce the risk. Tamaulipas produces most of the soybean in Mexico, but also has the longest period with favorable climatic conditions for soybean infection by the pathogen. Since all varieties of soybean planted in Mexico are susceptible to Asian soybean rust, the cost of applying fungicides is high. Planting soybean varieties resistant to Asian soybean rust is the most profitable strategy for its management. This review shows the advances in the study of Asian soybean rust in Mexico, considering the points: discovery and dispersion of Asian soybean rust, symptoms and conditions for the pathogen development, management strategies for its control and pathogenicity studies and genetic resistance to *P. pachyrhizi*.

Key words: *Glycine max* (L.) Merr, *Phakopsora pachyrhizi*, pathogenicity, resistance, chemical control.

INTRODUCCIÓN

La superficie cultivada con soya [*Glycine max* (L.) Merr] en el mundo corresponde al 6 % de la superficie total y, desde la década de 1970, es el cultivo que más incrementa la superficie de siembra anualmente (Hartman *et al.*, 2011); su importancia radica en que de las semillas se extrae aceite y proteína. Las regiones principales donde se cultiva la soya son Norteamérica, Sudamérica y Asia: Estados Unidos y Brasil constituyen los países que más producen y más exportan dicha oleaginosa (Kumudini, 2010).

En México, la región más productora de soya es el sur de Tamaulipas (Ascencio *et al.*, 2013), donde la superficie de siembra, la producción total y el rendimiento por unidad de área también se han incrementado. En el 2006 se sembraron 55,072 ha con una producción de tan sólo 18,406 t, ya que más de la mitad de la superficie sembrada se siniestró, y el rendimiento promedio fue de 1.07 t ha⁻¹. Mientras que en el 2014 se sembraron 103,656 ha con una producción de 138,342 t y un rendimiento promedio de 1.3 t ha⁻¹ (SIAP, 2017).

A pesar de que en la última década se dio un incremento en la producción de soya a nivel mundial, ésta se enfrenta a grandes amenazas relacionadas con factores bióticos y abióticos: sequía y la enfermedad roya asiática causada por el hongo basidiomiceto *Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow (Suenaga, 2014). Este patógeno se considera la mayor amenaza para el cultivo y comúnmente ocasiona pérdidas del 80 % o más cuando las condiciones ambientales son propicias para el desarrollo de la enfermedad (Rosa *et al.*, 2015). Los síntomas típicos de la roya asiática de la soya son pequeñas lesiones de

color marrón, formadas en la superficie abaxial de los folíolos (Godoy *et al.*, 2016). Las lesiones se asocian frecuentemente con clorosis; densidades altas de lesiones provocan defoliación prematura, resultando en pérdidas significativas del rendimiento (Hartman *et al.*, 2015).

En México, las pérdidas de rendimiento por la roya asiática de la soya oscilan entre el 25 y el 80 % (Terán *et al.*, 2007), por lo que el uso del control químico constituye la estrategia principal para reducir el riesgo (Yañez *et al.*, 2015). Si bien es cierto que el estado de Tamaulipas produce la mayor parte de soya en el país, también posee el período más largo con condiciones climáticas favorables para la infección del cultivo por el patógeno (Yañez *et al.*, 2015). Dado que todas las variedades de soya que se cultivan en México son susceptibles a la roya asiática, el costo por la aplicación de fungicidas es elevado (García *et al.*, 2017). La siembra de variedades de soya resistentes a la roya asiática se considera la estrategia más rentable para su manejo (Hartman *et al.*, 2005).

El presente trabajo tiene como objetivo mostrar los avances en el estudio de la roya asiática de la soya en México desde su aparición en el 2005, contrastando la información con el conocimiento generado en otras latitudes del mundo. La revisión pretende abarcar los puntos: descubrimiento y dispersión de la roya asiática de la soya, sintomatología y condiciones para el desarrollo del patógeno, estrategias de manejo para su control, estudios de patogenicidad y resistencia genética a *P. pachyrhizi*.

Descubrimiento y dispersión de la roya asiática de la soya. La roya asiática fue identificada por primera vez en Japón en 1902;

después en la India en 1906, en Australia en 1934, en China en 1940, sudeste de Asia en 1950 y Rusia en 1957, donde permaneció hasta 1994 que se detectó en Hawaii (Sinclair y Hartman, 1996). Posteriormente se presentó en África en 1996, desde Uganda hasta Sudáfrica (Ploper, 2004). La aparición de la roya asiática en América se reportó en el 2001 en Paraguay y Brasil (Yorinori *et al.*, 2005). Desde entonces, la enfermedad ha invadido la mayor parte de los países productores de soya en Sudamérica. Más tarde, en el 2004, se reportaron varios avistamientos en cuatro estados del suroeste de Estados Unidos (Stokstad, 2004).

El primer reporte de *P. pachyrhizi* en México fue en el 2005 (Cárcamo *et al.*, 2006). La enfermedad se ha detectado en varios municipios de Tamaulipas: Altamira, Aldama, Mante, González, Xicoténcatl, Valle Hermoso, Río Bravo y Gómez Farías; oriente de San Luis Potosí: Ébano y Tamuín; norte de Veracruz: Pánuco, Papantla, Chalma y Tampico Alto; Chiapas: Mastepec y Tapachula, y en Campeche (Terán *et al.* 2007).

Se ha confirmado su presencia no sólo durante el ciclo de cultivo de la soya que es de julio a noviembre, sino también fuera de éste en otras plantas hospederas (Fajardo, 2015). En el 2012 se le encontró en un lote de frijol negro asociado con maíz y jícama en Altamira, Tamaulipas (Cárcamo *et al.*, 2013). Actualmente se distribuye en la vertiente del Golfo de México (Veracruz, Campeche y Yucatán), en la costa del Pacífico (Sinaloa, Nayarit, Guerrero y Chiapas) y en la región centro de México en el estado de Guanajuato (Hernández *et al.*, 2014). De acuerdo con la Norma Internacional para Medidas Fitosanitarias No. 8, el estatus de la roya asiática es de presencia en el territorio nacional pero manejada (Terán *et al.*, 2013).

Sintomatología y condiciones para el desarrollo del patógeno. La soya presenta mayor susceptibilidad a la roya asiática después del inicio de floración. Primero aparecen pequeñas lesiones amarillentas de 1 mm de diámetro aproximadamente en el envés de las hojas inferiores, conforme avanza la enfermedad hacia el tercio medio y superior de la planta, las hojas se tornan amarillentas y las lesiones se manifiestan como pústulas pequeñas de color marrón amarillento a marrón rojizo u oscuro (Ploper, 2004). Bajo condiciones ambientales óptimas, la infección progresa rápidamente hacia las hojas medias y superiores causando defoliación severa (Terán *et al.*, 2013).

El hongo *P. pachyrhizi* es un parásito obligado que produce urediniosporas y teliosporas (Hartman *et al.*, 2015). Hasta ahora sólo se conoce que las urediniosporas son las causantes de la enfermedad. La supervivencia del hongo durante todo el año se basa en la continua producción de urediniosporas sobre un huésped disponible (Godoy, 2016). De acuerdo con Ivancovich (2005), *P. pachyrhizi* es un patógeno biotrófico; por lo tanto, requiere de plantas vivas para sobrevivir. Se transmite principalmente por urediniosporas transportadas por el viento, inclusive a grandes distancias. Tiene una amplia gama de hospederos, alrededor de 90 leguminosas según Slaminko *et al.* (2008). Dichos hospederos se encuentran en 74.6% del total de municipios de México, en aproximadamente 1.8 millones de hectáreas (SENASICA, 2010).

El hongo infecta las plantas a temperaturas entre 10 y 27.5 ° C (temperatura óptima de 20-23 ° C) y cuando el período mínimo de rocío es 6 horas (Melching *et al.*, 1989). La humedad continua de las hojas causada por el rocío o la lluvia también favorece el desarrollo de la enfermedad; la segunda constituye un factor determinante en los

niveles de infección en campo (Del Ponte *et al.*, 2006). Por otro lado, Ivancovich (2005) mencionó que la germinación de las esporas requiere alta humedad relativa (75 a 80 %) y temperaturas entre 14 y 30 °C. Después de la infección, las uredinias se producen dentro de 5 a 7 días para tener nueva generación de esporas en 10 a 20 días. En condiciones ideales (frías y húmedas) la enfermedad puede afectar hasta un 90 % del área foliar en tres semanas.

En México, con la finalidad de delimitar las zonas de riesgo, Yañez *et al.* (2015) evaluaron el potencial de distribución considerando los factores que pueden causar una epidemia: idoneidad de las condiciones climáticas para la roya asiática, superficie sembrada con cultivos hospederos y cantidad de inóculo. Se cuantificaron los días favorables para la infección utilizando un modelo con datos meteorológicos diarios de temperatura, precipitación y humedad relativa. Los resultados indicaron que en verano se tienen más días con condiciones favorables para la infección en los estados de Tamaulipas, Veracruz, Yucatán, Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Jalisco, Nayarit, Sinaloa y Sonora. En temporada de invierno el número de días favorables disminuyeron de forma considerable. Por lo

tanto, la probabilidad de que la roya asiática hiberne en México es baja.

Estrategias para el control de la enfermedad.

Las estrategias principales para el control de la roya asiática de la soya son el uso de variedades tolerantes o resistentes y la aplicación de fungicidas foliares. Yamanaka *et al.* (2014) también mencionaron la adopción de un periodo libre de hospederos como medio para controlar la enfermedad. En el caso de México, Terán *et al.* (2007) dividieron las estrategias de manejo en medidas preventivas y medidas de control.

Como parte de las prácticas preventivas se recomienda la preparación del terreno antes del 10 de junio para realizar la siembra de la soya entre el 15 de junio y el 20 de julio, lo anterior para evitar que el llenado de grano (R4 a R7) coincida con el periodo óptimo para el desarrollo de la enfermedad (Terán *et al.*, 2007). Según la fenología que presentan las variedades de soya que se siembran en México, en el sur de Tamaulipas se sugiere sembrar primero las variedades más tardías y posteriormente las intermedias y precoces. Además, se sugiere utilizar las distancias entre surcos y las densidades de plantas ha⁻¹ (Maldonado, 2017) que se especifican en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Variedades de soya recomendadas para el sur de Tamaulipas y especificaciones de siembra como medida preventiva para el manejo de la roya asiática de la soya *Phakopsora pachyrhizi*.

Variedad	Distancia entre surcos (cm)	Platas ha ⁻¹ (miles)	Plantas m ⁻¹	Densidad de siembra (kg ha ⁻¹)*
Huasteca 100	76 - 80	250 - 300	19 - 24	48 - 56
Huasteca 200	76 - 80	200 - 250	15 - 20	42 - 51
Huasteca 300	76 - 80	250 - 300	19 - 24	57 - 67
Huasteca 400	76 - 80	250 - 300	19 - 24	45 - 53
Tamesí	76 - 80	250 - 300	19 - 24	57 - 66
Huasteca 600	76 - 80	250 - 300	19 - 24	55 - 63

*Semilla certificada con un mínimo de 85 % de germinación; Peso de 100 semillas: Huasteca 100 (13.65 g), Huasteca 200 (15.05 g), Huasteca 300 (16.27 g), Huasteca 400 (12.69 g), Tamesí (16.1 g) y Huasteca 600 (15.7 g). Fuente: Maldonado (2017).

También se recomendó no sembrar soya en el ciclo otoño-invierno y destruir las plantas voluntarias y leguminosas hospederas para reducir las posibilidades de supervivencia del patógeno (Terán *et al.*, 2007).

En cuanto a las medidas de control, la aplicación de fungicidas es el método más utilizado actualmente para el manejo de *P. pachyrhizi*. Galvez *et al.*, (2006) indicaron que la aplicación debe realizarse apenas se detecten los primeros

síntomas o cuando se presenten las condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad. Debido a la gravedad de esta amenaza, en el 2009 el gobierno mexicano puso en marcha un programa de vigilancia basado en la instalación y seguimiento de parcelas centinelas en zonas con cultivos hospederos (Yañez *et al.*, 2015) y las primeras recomendaciones de fungicidas para el control de la roya asiática según Terán *et al.*, (2007) incluyeron a los grupos de las estrobirulinas, los triazoles y las mezclas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Productos y dosis recomendados en el 2007 para el control de la roya asiática *Phakopsora pachyrhizi* en el cultivo de la soya.

Grupo	Nombre común	Nombre comercial	Dosis (L ha ⁻¹)
Estrobirulinas	Azoxystrobin	Bankit 25 SC	0.75
Estrobirulinas	Pyraclostrobin	Headline	0.3
Triazoles	Cyproconazole	Alto 100SL	0.5
Triazoles	Tebuconazole	Folicur 250 EW	0.3 – 0.5
Triazoles	Epoconazole	Opus	0.2
Triazoles	Flutriafol	Pointer	0.4 – 0.6
Mezclas	Azoxystrobin + Cyproconazole	Bankit 25 SC + Alto 100SL	0.25 + 0.25
Mezclas	Pyraclostrobin + Epoconazole	Headline + Opus	0.3 + 0.2

Fuente: Terán *et al.* (2007).

Debido a que la soya se siembra en grandes áreas, la alta frecuencia en la aplicación de fungicidas, la variabilidad genética que presenta el patógeno, su abundante esporulación, su período corto de multiplicación y al gran número de hospederos que posee, se ejerce alta presión de selección sobre los grupos de fungicidas utilizados para su control, causando la pérdida de su eficiencia (Koga *et al.*, 2009). En la región de Las Huastecas, en una evaluación en el 2008 se tuvieron períodos de protección con una eficiencia del 80 % de 47 a 63 días con triazoles,

43 días con estrobilurinas y de 47 a 67 días con mezclas de un triazol y una estrobilurina; sin embargo, en el ciclo otoño invierno 2012-2013, una nueva evaluación de fungicidas mostró una pérdida de efectividad de los diferentes grupos y productos; solamente las mezclas de un triazol y una estrobilurina mostraron la mayor eficiencia y mayor período de protección, el cual fue de 30 días solamente, por lo que el período entre una y otra aplicación no deberá ser superior a 30 días (Terán *et al.*, 2013). Así, los productos y dosis recomendados en el 2013 se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Fungicidas y dosis recomendados en el 2013 para el control de la roya asiática *Phakopsora pachyrhizi* en el cultivo de la soya.

Nombre comercial	Ingrediente activo	Dosis (L ha ⁻¹)
Consist Max	Trifloxystrobin, 262 g i.a./L + Tebuconazole, 262 g i.a./L	0.25
Opera	Pyraclostrobin, 200 g i.a./L + Epoziconazol, 50 g i.a./L	0.5
Priori Xtra	Azoxistrobin, 200 g i.a./L + Cyproconazole, 80 g i.a./L	0.3
Quilt	Azoxystrobin, 75 g i.a./L + Propiconazole, 125 g i.a./L	0.75

Fuente: Terán *et al.* (2013); Maldonado (2017).

Estudios de patogenicidad y resistencia genética.

Pham *et al.* (2009) mencionaron que lograr la resistencia genética a *P. pachyrhizi* es la mejor estrategia a largo plazo para combatir la enfermedad. En México existen pocos reportes sobre germoplasma de soya con resistencia al patógeno (Peña *et al.*, 2014), y dado que se tiene poco conocimiento sobre cuáles genes confieren resistencia a poblaciones específicas de *P. pachyrhizi*, la incorporación de éstos no ha sido considerada en los programas de mejoramiento genético de soya. En una evaluación realizada bajo condiciones de campo, se identificaron 23 genotipos de soya con resistencia a roya asiática, ya que no presentaron lesiones: L85-2378, PI 230970, AkiSengoku (Kyushu 11), Kyushu 21, PI 417125, Kyushu 37, Kyushu 56, Tamahikari, Gakuran, Daizu, Kumaji 2, Kuro Chouhin 14, Kyushu 43, Ba yue bao, PI 567024, PI 567025 A, PI 567123 A, Gogaku, PI 605891 B, Kuro Daizu A, Kuro Daizu B, A9, PI 567058 D y PI 567104 B (Peña *et al.*, 2014). Las líneas de soya PI 567123 A, PI 230970, PI 567058 D y PI 567104 B también han sido registradas como resistentes con aislamientos de *P. pachyrhizi* de otras regiones del mundo (Miles *et al.*, 2006; Pham *et al.*, 2009; Shuxian, 2009).

Entre 1983 y 2012 se han reportado varios genes *Rpp* (Resistencia a *P. pachyrhizi*) con resistencia a roya asiática de la soya: *Rpp1*, *Rpp1-b*, *Rpp2*, *Rpp3*, *Rpp4*, *Rpp5* y *Rpp6*. Sin embargo no se pueden utilizar sin saber cuál gen es efectivo contra poblaciones específicas de roya asiática

en cierta región. Así, las características patogénicas de poblaciones de *P. pachyrhizi* se han examinado mediante un conjunto de genotipos diferenciales de soya en varios países sudamericanos (Akamatsu *et al.*, 2013). Una limitante para el desarrollo de variedades resistentes es la elevada variación patogénica que presenta la enfermedad, por lo que las variedades de soya que portan un solo gen *Rpp* pierden su efectividad en poco tiempo. Yamanaka *et al.* (2015) indicaron que en Sudamérica se ha implementado un esquema de mejoramiento genético utilizando líneas de soya altamente resistentes que portan múltiples genes *Rpp* (línea piramidal). De esta forma se pueden obtener genotipos con resistencia más estable a *P. pachyrhizi*.

García *et al.* (2017) determinaron los perfiles patogénicos de cuatro poblaciones de roya asiática, colectadas en el noreste de México durante el 2015, utilizando 12 diferenciales de soya portando 0 - 3 genes *Rpp*. Los resultados indicaron gran variación en la patogenicidad de las poblaciones de roya asiática de México. Por otro lado, ningún diferencial de soya portando un solo gen *Rpp* fue resistente a las cuatro poblaciones evaluadas; pero el diferencial No6-12-1 con tres genes (*Rpp2+Rpp4-Rpp5*) mostró resistencia a todas las muestras de *P. pachyrhizi*. Por lo tanto, el uso de germoplasma con múltiples genes de resistencia será útil para desarrollar variedades de soya resistentes a la roya asiática en México.

CONCLUSIONES

La roya asiática de la soya *P. pachyrhizi* constituye la mayor amenaza biótica para el cultivo de la soya en México y en todas las regiones del mundo donde se cultiva. Durante el ciclo primavera-verano se tienen más días con condiciones favorables para el desarrollo de esta enfermedad y para la infección en Tamaulipas, Veracruz, Yucatán, Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Jalisco, Nayarit, Sinaloa y Sonora. Debido a las condiciones en las que se desarrolla el patógeno, en México se prohibió la siembra de soya durante el ciclo otoño-invierno y se recomendaron nuevas fechas de siembra y densidades de población por variedad como medidas preventivas. Los fungicidas: triazoles y estrobirulinas, que se utilizaron por separado en un principio para el control de la enfermedad perdieron su efectividad en poco tiempo debido a la alta variación patogénica del hongo. Actualmente se utilizan los mismos grupos de fungicidas pero en mezcla. Evaluaciones de campo mostraron que genotipos introducidos de soya no presentaron lesiones cuando fueron inoculados con aislamientos nacionales de roya asiática. Los primeros estudios de patogenicidad indicaron que el uso de germoplasma con múltiples genes *Rpp* es útil para el desarrollo de variedades de soya resistentes a la roya asiática en México.

LITERATURA CITADA

Akamatsu, H., Yamanaka N., Yamaoka Y., Soares R. M., Morel W., Ivancovich A. J. G., Bogado A. N., Kato M., Yorinori J. T. & Suenaga K. 2013. Pathogenic diversity of soybean rust in Argentina, Brazil, and Paraguay. *Journal of General Plant Pathology* 79(1): 28-40.
<https://doi.org/10.1007/s10327-012-0421-7>

Ascencio L, G., N. Maldonado M., J. G. García O. and H. R. Gill L. 2013. AMMI and sequential path analyses of soybean

García-Rodríguez *et al.*, 2018 [*Glycine max.* (L.) Merrill] experimental lines in a breeding program in the Mexican tropics. *Aust. J. Crop Sci.* 7: 1772-1779.

- Cárcamo R., A., Aguilar R. J. & J. R. Hernández. 2006. First report of Asian soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* from Mexico. *Plant Disease* 90(9): 1260.
<https://doi.org/10.1094/PD-90-1260B>
- Cárcamo R., A., Solano B. A. R., E. Maldonado C. y P. García Z. 2013. Primer reporte de la roya asiática de la soya (*Phakopsora pachyrhizi*) en frijol negro en Altamira, Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 31: S96.
- Del Ponte, E. M., Godoy C. V., Li X., and Yang X. B. 2006. Predicting severity of Asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. *Phytopathology* 96: 797- 803. <https://doi.org/10.1094/PHYTO>
- Fajardo F., M. L. 2015. Impacto de la roya asiática de la soya (*Phakopsora pachyrhizi*), su relación con el clima y patrón de reflectividad en la región Huasteca. Tesis de doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 103 p.
- Gálvez M. R., Ploper L. D., González V., Rojas A., Ruiz S., Rodríguez W. y Devani M. R. 2006. Evaluación de fungicidas para el control de la roya de la soja. Estación Experimental Agroindustrial “Obispo Colombes”. Tucumán, Argentina. Consultado el 20 abril 2016. http://www.acsoja.org.ar/images/cms/contenidos/560_b.pdf
- García R., J. C., Morishita M., Kato M., and Yamanaka N. 2017. Pathogenic characteristics of the Asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Mexico. *Revista Mexicana de Fitopatología* 35: 338-349.
- Godoy C., V., Seixas C. D. S., Soares R. M., Marcelino-Guimarães F. C., Meyer M. C &

- Costamilan L. M. 2016. Asian soybean rust in Brazil: past, present, and future. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51: 407-421. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X201600>
- Hartman G. L., Sikora E. J., and Rupe J. C. 2015. Rust. *In*: Hartman, G. L., Rupe J. C., Sikora E. J., Domier L. L., Davis J. A. and Steffey K. L. (eds.). *Compendium of soybean diseases and pests*. St. Paul: American Phytopathological Society. p. 56- 58. <https://doi.org/10.1094/9780890544754>
- Hartman G., L., Miles, M. R., & Frederick, R. D. 2005. Breeding for resistance to soybean rust. *Plant Disease* 89(6): 664-666. <https://doi.org/10.1094/PD-89-0664>
- Hernández H., M. R., A. Cárcamo R. y E. Luna M. 2014. Primer reporte de la fase sexual de la roya asiática de la soya (*Phakopsora pachyrhizi*) en México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 32: S58.
- Ivancovich, A. 2005. Soybean rust in Argentina. *Plant Disease-St Paul* 89(6): 667. <https://doi.org/10.1094/PD-89-0667>
- Koga, J. L., L. I. Negrao, y C. V. Godoy. 2009. Resultados do monitoramento da sensibilidade de populações de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas. *In*: Vieira G. C., C. D. Santos y R. Moreira (eds.). *Reuniao do consorcio antiferrugem safra 2008-09*. Documentos 315. Embrapa Soja. Londrina, PR, Brasil. p. 59-69.
- Kumudini, S. 2010. Soybean growth and development. *In*: Singh, B. (ed.). *The soybean: botany, production and uses*. CAB International. Oxfordshire, U. K. p. 48-73. <https://doi.org/10.1079/9781845936440.00>
- Maldonado M., N. 2017. Soya de temporal y riego par el sur de Tamaulipas, ciclo P-V. *In*: Elizondo B., J., G. Arcos C., J. C. García R., F. Alejandro A., y M. Espinosa R. (eds.). *Agenda técnica agrícola Tamaulipas*. INIFAP. México. p. 92-105.
- Melching J., S., Dowler W. M., Koogle D. L., and Royer M. H. 1989. Effects of duration, frequency, and temperature of leaf wetness periods on soybean rust. *Plant Disease* 73: 117- 122. <https://doi.org/10.1094/PD-73-0>
- Miles M., R., Frederick R. D. and Hartman G. L. 2006. Evaluation of soybean germplasm for resistance to *Phakopsora pachyrhizi*. *Plant Health Progress*. <https://doi.org/10.1094/PHP>
- Peña del R. M., D. L., Maldonado M. N. y Díaz F. A. 2014. Reacción de germoplasma de soya a *Phakopsora pachyrhizi* en campo. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37: 225-227. <https://doi.org/10.35196/rfm.2014.3.225>
- Pham T., A., Miles, M. R., Frederick, R. D., Hill, C. B., & Hartman, G. L. 2009. Differential responses of resistant soybean entries to isolates of *Phakopsora pachyrhizi*. *Plant Disease* 93(3): <https://doi.org/10.1094/>
- Ploper D., L. 2004. Principales conclusiones del panamerican soybean rust workshop. Abril del 2004. Publicación especial No. 24. Estación Experimental Agroindustrial “Obispo Colombes”. Tucumán, Argentina. 24 p. <https://doi.org/10.4172/2157-7471.1>
- Rosa C., R. E., Spehar C. R., and Liu J. Q. 2015. Asian soybean rust resistance: an overview. *J Plant Pathol Microb* 6: 1-7. doi:10.4172/2157-7471.1000307
- SENASICA. 2010. Reporte epidemiológico roya asiática. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria. San Luis Potosí, S. L. P. 7 p.
- Shuxian, L. 2009. Reaction of soybean rust-resistant lines identified in Paraguay to Mississippi isolates of *Phakopsora pachyrhizi*. *Crop Science* 49:887-894. <https://doi.org/10.2135/cropsci2008.06.030>
- SIAP. 2017. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Consultado el 21 de junio de 2017 [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenDelegacion.do]
- Sinclair J., B. and G. L. Hartman. 1996. *Proceedings of the soybeans rust workshop*. August 9-11, 1995. National Soybeans

- Research Laboratory. Publication No. 1. College of Agricultural Consumer and Environmental Sciences. University of Illinois, Urbana-Champaign, USA. 68 p.
- Slaminko T., L., Miles M. R., Frederick R. D., Bonde M. R. and Hartman G. L. 2008. New legume hosts of *Phakopsora pachyrhizi* based on greenhouse evaluations. *Plant Disease* 92: 767- 771.
<https://doi.org/10.1094/PDIS-92-5-0767>
- Stokstad, E. 2004. Plant pathologists gear up for battle with dread fungus. *Science* 306: 1672-1673. <https://doi.org/10.1126/science.1672-1673>.
- Suenaga, K. 2014. Soybean rust Project titled "Identification of durable resistance to soybean rust for South America" during FY*2006 to 2010 (second mi-term period of JIRCAS). *In*: Akamatsu, H., N. Yamanaka and K. Suenaga (eds.). Identification of Stable Resistance to Soybean Rust for South America. JIRCAS working report No. 81. Japan International Research Center for Agricultural Sciences. Tsukuba, Ibaraki, Japan. pp. 1-4.
- Terán V., A. P., G. Ascencio L. y E. Rosales R. 2013. Control químico de la roya asiática causada por *Phakopsora pachyrhizi*. Folleto técnico No. MX-0-310304-47-03-14-09-33. Campo Experimental Las Huastecas. CIRNE-INIFAP. Altamira, Tamps., México. 59 p.
- Terán V., A. P., G. Ascencio L., N. Maldonado M. y J. Ávila V. 2007. La roya asiática de la soya en México. Folleto técnico No. 22. Campo Experimental Sur de Tamaulipas. CIRNE-INIFAP. Altamira, Tamps., México. 53 p.
- García-Rodríguez et al., 2018**
Yamanaka, N., Morishita M., Mori T., Lemos N. G., Hossain M. M., Akamatsu H., Kato M. and Yamaoka Y. 2015. Multiple *Rpp*-gene pyramiding confers resistance to Asian soybean rust isolates that are virulent on each of the pyramided genes. *Trop Plant Pathol* 40:283-290.
<https://doi.org/10.1007/s40858-015-0038-4>
- Yamanaka, N., N. G. Lemos, M. Uno, H. Akamatsu, Y. Yamaoka, R. V. Abdelnoor, A. de L. e Braccini and K. Suenaga. 2014. Resistance to asian soybean rust in soybean lines carrying *Rpp2*, *Rpp4*, and *Rpp5*. *In*: Akamatsu, H., N. Yamanaka and K. Suenaga (eds.). Identification of Stable Resistance to Soybean Rust for South America. JIRCAS working report No. 81. Japan International Research Center for Agricultural Sciences. Tsukuba, Ibaraki, Japan. pp. 88-95.
- Yañez L., R., Hernández Z. M.I., Quijano C. J. A., Terán V. A. P., Pérez M. L., Díaz P. G., and Rico G. E. 2015. Potential distribution zones for soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Mexico. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 2:291–302.
- Yorinori J., T., Paiva, W. M., Frederick, R. D., Costamilan, L. M., Bertagnolli, P. F., Hartman, G. E., Godoy, C. V. & Nunes, Jr. J. 2005. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. *Plant Disease* 89(6): 675-677.
<https://doi.org/10.1094/PD-89-0675>



Este texto está protegido por una licencia licencia [Creative Commons; 4.0](#).

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)