



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

MAESTRÍA EN PROTECCIÓN VEGETAL

**EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y ANÁLISIS GEOESPACIALES
APLICADOS PARA DETERMINAR EL DESARROLLO Y DISPERSIÓN DE LA
ROYA ASIÁTICA EN TAMAULIPAS, MÉXICO.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

EN

PROTECCIÓN VEGETAL

PRESENTA

NERI YOANA AGUILAR PANIAGUA

CHAPINGO, MÉXICO, 2013



DIRECCIÓN GENERAL DE LA ESCUELA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PARTICULARES

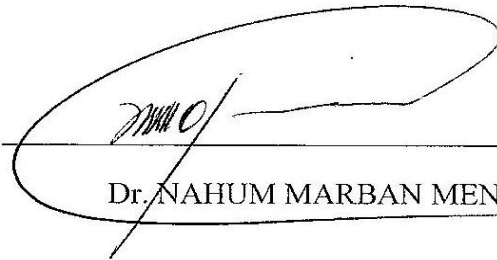


EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y ANÁLISIS GEOESPACIALES APLICADOS
PARA DETERMINAR EL DESARROLLO Y DISPERSIÓN DE LA ROYA
ASIÁTICA EN TAMAULIPAS, MÉXICO.

Tesis realizada por **Neri Yoana Aguilar Paniagua** bajo la dirección del Comité Asesor
indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado
de:

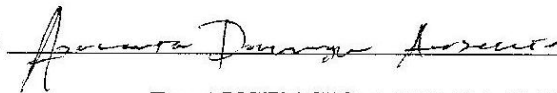
MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

DIRECTOR:



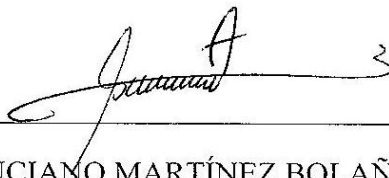
Dr. NAHUM MARBAN MENDOZA

ASESOR:



Dr. AUSENCIO AZUARA DOMÍNGUEZ

ASESOR:



Dr. LUCIANO MARTÍNEZ BOLAÑOS

DEDICATORIA

A mis Padres: **Jesús Aguilar Solano y Reina Paniagua González**. Quienes me apoyaron en todo momento, por su paciencia y comprensión. Y sobre todo por el amor que siempre me han mostrado y brindado. Los amo y respeto, que Dios siempre los bendiga y cuide.

A mis hermanos: **Josué, Pablo y Elizabeth**. Gracias por su apoyo moral, por ese respeto y amor brindado, gracias por darme ánimo, espero ser un ejemplo para ustedes.

Al **Dr. Sergio Hilario Díaz**. Un excelente maestro, gracias por su apoyo en todo momento, por sus consejos, gracias por haber confiado en mí y por transmitirme conocimientos, valor y un gran amor por la agronomía. Lo quiero mucho

A mis grades amigos. **Dr. Sergio Hilario Díaz, Ing. Abimelec Soto Sandoval, M.C. Eliza Duran Peralta, M.C. Erick Acuayte Valdés, Eliseo Vázquez Vázquez y Grecia Soto Aguilar** quienes fueron un gran apoyo en el desarrollo de mis estudios, agradezco sus consejos y apoyo en los momentos difíciles. Los quiero mucho, gracias por su confianza, amistad, cariño y ayuda. Los quiero mucho en especial a Abimelec.

A una gran persona **Aurora Huerta Ortiz** por su valiosa ayuda en todo el transcurso de mis estudios en la maestría y también por ser una gran amiga que me apoyo en los momentos difíciles. Gracias por tu ayuda y por recibirme siempre con una sonrisa, Te quiero mucho.

A la **M.C. Ma. De Lourdes Rodríguez Mejía** por brindarme su confianza y amistad, me apoyo en todo momento y me dio la oportunidad de desarrollarme en más conocimientos. Gracias por todo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la **Universidad Autónoma Chapingo** por brindarme la oportunidad de superarme como persona en todos los aspectos de la vida.

Agradezco al **Programa de Maestría en Ciencias en Protección Vegetal** de la Universidad Autónoma Chapingo por brindarme la oportunidad de hacer la maestría.

Agradezco al **Departamento de Parasitología Agrícola** por la formación técnica.

A **CONACYT** por apoyarme brindándome una beca para estudiar la maestría en ciencias en protección vegetal.

Agradezco al **Campo Experimental "Las Huastecas"**, perteneciente al INIFAP. Así como, a la Fundación Produce Tamaulipas por el financiamiento brindado a este trabajo de investigación.

Al **Dr. Ausencio Azuara Domínguez**, por el apoyo en la realización del trabajo de investigación, y por su gran ayuda, lo aprecio mucho, Gracias.

Al **PhD. Nahum Marbán Mendoza** por la formación que me dio durante la maestría, por su apoyo, comprensión y paciencia durante este trabajo de investigación. Gracias por sus consejos, por escucharme cuando necesite de consejos, lo quiero mucho y es un gran ejemplo para mí. Gracias.

Al **Dr. Luciano Martínez Bolaños** por el apoyo en mi trabajo de investigación, le agradezco sus consejos y ayuda. Espero sigamos trabajando juntos.

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor de la presente tesis nació el 19 de septiembre de 1984 en el Distrito Federal. Realizó sus estudios de educación básica en el Estado de México. En 2002 ingresa a la Universidad Autónoma del Estado de México, egresa en el 2007, con el título de Ingeniero Agrónomo Fitotecnista. En el 2005 prestó sus servicios en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias del Estado de México en mejoramiento genético de variedades de papa. Participo en diversos cursos, congresos, reuniones y simposios, como asistente, expositor y organizador. Trabajó de febrero 2008 a Mayo 2009 en la Empresa Integradora La Unión de Productores S.A. de C.V., en el área de ventas y como asesor técnico fitosanitario. Ejerció como asesor técnico en el programa PROMAF 2009, durante junio 2009 a febrero 2010 en el Estado de Guerrero, Costa grande. En enero del 2011 ingresa al Departamento de Parasitología Agrícola para iniciar estudios de maestría en Ciencias en Protección Vegetal en la Universidad Autónoma Chapingo concluyendo en diciembre del 2012.

EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y ANÁLISIS GEOESPACIALES APLICADOS PARA DETERMINAR EL DESARROLLO Y DISPERSIÓN DE LA ROYA ASIÁTICA EN TAMAULIPAS, MÉXICO

TEMPERATURE EFFECTS AND GPS ANALYSIS APPLICATION TO DETERMINE THE DEVELOP AND DISPERSION OF ASIAN RUST DISEASE IN TAMAULIPAS, MEXICO

Neri Yoana Aguilar Paniagua¹ y Nahum Marbán Mendoza²

RESUMEN

En la presente investigación se determinó el efecto de la temperatura en el desarrollo de la roya asiática y se geo-referenció el patrón de infestación del patógeno en el cultivo de soya en Tamaulipas y San Luis Potosí. Para ello, se establecieron parcelas centinelas sembradas con cultivares de soya en Tamaulipas y San Luis Potosí. En seguida, se cuantificó la severidad e incidencia de *P. pachyrhizi*. Por último, con estos datos de temperatura y coordenadas geográficas se determinó el efecto de la temperatura y el patrón de dispersión de la roya asiática. Se observó que entre 13°C y 26°C se lleva acabo el progreso de la enfermedad. Mientras que a <13°C o >26°C no se desarrolla. Así también, se determinó que la diseminación del patógeno inicia en Gonzáles, Gómez Farías y el Mante, Tamaulipas. Ambos resultados son de utilidad para el desarrollo de estrategias de control de *P. pachyrhizi*.

Palabras clave: Parcela centinelas, soya, geo-referenciación, roya asiática.

ABSTRACT

In the present investigation, the effect of temperature on the development of Asian rust was and determined the Geo-Referencing of pathogen infestation pattern in soybean cultivation in Tamaulipas and San Luis Potosi. Was also done, Sentinel plots were established with soybean cultivars planted in Tamaulipas and San Luis Potosi. Then, we quantified the severity and incidence of *P. pachyrhizi*. Finally, with temperature data and geographical coordinates, we manage to develop of temperature and the dispersion pattern of Asian rust. It was found that between 13 °C and 26 °C the progress of the disease takes place. While <13 °C or > 26 °C does not develop. Also, it was determined that the spread of the pathogen begins in Gonzales, Gomez Farias and Mante, Tamaulipas. Both results are useful for the development of control strategies *P. pachyrhizi*

Key words: sentinel plots, Soybean, Geo-Referencing, Asian rust.

1 Tesista

2 Director

CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
DATOS BIOGRÁFICOS.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	iv
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. El cultivo de la soya (<i>Glycine max</i> (L.)	3
2.1.1. Origen y distribución de la soya.....	3
2.2. Importancia mundial y nacional	4
2.3. Ubicación taxonómica.....	5
2.4. Descripción de la soya (<i>Glycine max</i>)	6
2.4.1. Descripción de las fases de desarrollo	6
2.5. Variedades de soya.....	8
2.5.1. Variedades en México.....	8
2.5.2. Variedades con genes resistentes a <i>Phakopsora pachyrhizi</i>	9
2.6. Roya Asiática (<i>P. pachyrhizi</i>)	10
2.6.1. Origen y distribución.....	10

2.6.2.	Taxonomía y morfología del agente causal	13
2.6.3.	Importancia económica	13
2.6.4.	Sintomatología	14
2.6.5.	Ciclo del hongo	17
2.6.6.	Epidemiología	19
2.6.7.	Hospederos	22
2.6.8.	Manejo de la Roya asiática	24
2.7.	Modelos de predicción utilizados para la roya asiática.	27
2.7.1.	Movimiento de las esporas.....	27
2.7.2.	Establecimiento de parcelas centinelas	29
2.7.3.	Modelos de predicción	30
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	34
3.1.	Primera etapa.....	34
3.2.	Localización del experimento.....	34
3.3.	Descripción y diseño del experimento	35
3.4.	Manejo del cultivo.....	35
3.5.	Variables evaluadas	37
3.5.1.	Incidencia	37
3.5.2.	Severidad.....	38
3.5.3.	Temperaturas mínimas y máximas.....	39
3.5.4.	Análisis estadístico.....	39
3.6.	Segunda etapa.....	39
3.6.1.	Localización del experimento	40
3.5.2.	Establecimiento de las parcelas centinelas.....	40
3.6.2.	Manejo del cultivo.....	43

3.6.3.	Variables a evaluar	43
3.6.4.	Análisis estadístico.....	44
3.6.5.	Modelo predictivo de roya asiática	44
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
4.1.	Incidencia, severidad y temperatura	46
4.2.	Análisis geo-estadísticos	47
5.	CONCLUSION.....	50
6.	LITERATURA CONSULTADA	51

ÍNDICE DE CUADROS

<i>Cuadro 1. Fase vegetativa de la soya</i>	<i>6</i>
<i>Cuadro 2. Fase reproductiva de la soya.....</i>	<i>6</i>
<i>Cuadro 3. Enfermedades de la soya que pueden confundirse con la roya asiática.</i>	<i>16</i>
<i>Cuadro 4. Hospederas alternantes más comunes de la roya asiática (Phakopsora pachyrhizi) en América.</i>	<i>23</i>
<i>Cuadro 5. Estados y parcelas comerciales en donde se establecieron las “Parcelas centinela” de interés en este estudio.....</i>	<i>41</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Principales estados productores de soya en México. (FAOSTAT, 2011).</i>	5
<i>Figura 2. Desarrollo fenológico del cultivo de soya.</i>	7
<i>Figura 3. Presencia de la roya de la soya causada por <i>Phakopsora pachyrhizi</i> a nivel mundial (Kurle et al., 2007).</i>	12
<i>Figura 4. A) Áreas de cultivo de soya en México, B) Áreas de cultivo en el estado de Tamaulipas, México. Adaptado por SIAP, SAGARPA (2005).</i>	12
<i>Figura 5. Enfermedad avanzada se observan manchas que se agrupan junto a las venas.</i>	15
<i>Figura 6. Pústulas en el envés de la hoja de soya</i>	15
<i>Figura 7. Pústulas (uredios) produciendo masa de esporas (uredosporas) (Loehrer y Schaffrath, 2011).</i>	15
<i>Figura 8. Morfología e ilustración de la germinación de las uredosporas de <i>Phakopsora pachyrhizi</i> bajo un microscopio compuesto. A) Germinación del tubo y crecimiento después de 2 h. B) crecimiento de los tubos germinales y la diferenciación del apresorio de las uredosporas después de 8 h (X. Li et al., 2010).</i>	19
<i>Figura 9. El proceso de infección tarda unos 10 días a partir del contacto de la espora con la hoja, desde la colonización de la hoja a la producción de uredosporas (Miller et al., 2005).</i>	19
<i>Figura 10. Diagrama conceptual de la dispersión de las uredosporas a través de la atmósfera del hospedero al receptor (Default, 2008).</i>	29
<i>Figura 11. Localización de las parcelas experimentales para el desarrollo de la primera fase del experimento.</i>	34
<i>Figura 12. Parcela experimental 38.4m² con el genotipo de soya H-200.</i>	35
<i>Figura 13. Primer riego de auxilio realizado al cultivo de soya variedad Huasteca 200.</i>	36
<i>Figura 14. Segundo riego de auxilio realizado al cultivo de soya variedad Huasteca 200.</i>	36
<i>Figura 15. Aplicación del insecticida Malation para el control del gusano terciopelo</i>	37

<i>Figura 16. Escala diagramática de severidad de la roya asiática de la soya con el porcentaje que representa el área de contaminación de la enfermedad en la hoja.</i>	<i>38</i>
<i>Figura 17. Distribución de las parcelas centinelas establecidas en los estados de Tamaulipas y San Luis Potosí.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 18. Establecimiento de las parcelas centinelas.</i>	<i>41</i>
<i>Figura 19. Efecto de la temperatura en el desarrollo de P. pachyrhizi.</i>	<i>46</i>
<i>Figura 20. Patrón de infestación de P. pachyrhizi en los estados de Tamaulipas y San Luis Potosí.</i>	<i>47</i>

1. INTRODUCCIÓN

La roya asiática de la soya (causada por *Phakopsora pachyrhizi* Sidow & Sidow), ha impactado económicamente por muchos años a la producción del cultivo de soya en Australia y Asia (Ploper, 2004; Sinclair y Hartman, 1995). De la misma manera, ha causado pérdidas de rendimiento al propagarse en Hawái (1994), África (1996), Paraguay, Brasil y Argentina (2001), Bolivia (2003), Uruguay y USA (2004), México (2006) y en Cuba (2010) (Carcamo y Aguilar, 2006; Miles *et al.*, 2003; Pérez *et al.*, 2010; Sinclair y Hartman, 1995; Terán *et al.*, 2007). Lo anterior, es debido a la rápida diseminación de las esporas del hongo de plantas infestadas a plantas sanas a través de las corrientes de aire (Krupa *et al.*, 2006). Por lo anterior, esta enfermedad fúngica se ha presentado en regiones geográficas con diferente tipo de clima (X. Li *et al.*, 2010). Sin embargo, varios estudios epidemiológicos demuestran que el establecimiento y el desarrollo de la enfermedad están en función de las condiciones climáticas (Isard *et al.*, 2004). A bajas temperaturas el ciclo biológico de la enfermedad es lento (Miles *et al.*, 2003), mientras que ciclos cortos se dan entre 18°C a 26°C. Tomando en cuenta lo anterior, actualmente, estudios atmosféricos incluyen datos de temperatura para describir el proceso que caracteriza el movimiento de este microorganismo en el aire (Del ponte *et al.*, 2006; Isard *et al.*, 2004; X. Li *et al.*, 2010). Los modelos atmosféricos que describen este proceso son acompañados también con modelos epidemiológicos, ya que estos detallan la intensidad (incidencia y severidad) de la enfermedad (Del ponte *et al.*, 2006;

X. Li *et al.*, 2010). Para determinar la intensidad de la roya asiática de la soya varios autores citan el uso de parcelas centinelas (parcelas sembradas con el cultivo de soya). Estas son establecidas de manera estratégica en diferentes áreas geográficas con el fin de monitorear y hacer una detección oportuna de infestaciones de la roya asiática. Lo anterior ha permitido ejercer acciones tendientes a proteger la producción de soya (Krupa *et al.*, 2006; USDA-APHIS, 2006). Así también, con la implementación del sistema de parcelas centinelas se genera información en tiempo real de las zonas soyeras afectadas por *P. pachyrhizi* (<http://sbr.ipmpipe.org>) (USDA-APHIS, 2006). Con dicha información y en conjunto con datos meteorológicos se estiman los patrones espaciales (distribución de uredosporas) de *P. pachyrhizi* en diferentes escalas (estado, país, continente) (X. Li, *et al.*, 2010; Zhining, *et al.*, 2009). Lo anterior se realiza con el propósito de minimizar la pérdida de rendimiento y el uso de fungicidas.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Determinar el efecto de la temperatura y describir el patrón de infestación de la roya asiática de la soya en Tamaulipas.

Objetivos específicos

- Determinar el efecto de la temperatura en el crecimiento de la roya asiática de la soya en Tamaulipas.
- Geo-referenciar y determinar el patrón de infestación de la roya asiática de la soya en Tamaulipas y San Luis Potosí.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El cultivo de la soya (*Glycine max* (L.))

2.1.1. Origen y distribución de la soya

La domesticación de la soya también denominada “soja” o el “tesoro del campo” comenzó en el norte de China en el siglo XI a. C. Se cree que el cultivo se difundió a Corea alrededor del año 200 a. C. En la antigua China, el frijol de soya era una de las cinco plantas sagradas, y desde hace 5,000 años se conocía su valor nutritivo extraordinariamente alto y sus propiedades curativas. Fueron los misioneros budistas chinos quienes en el siglo VII llevaron la soya a Japón. Además, fue en ese lugar precisamente donde más se desarrollaron las posibilidades culinarias de la soya (El cerealista, 2010).

Las semillas de soya se enviaron a Europa desde varios lugares del Oriente, y fueron descritas más tarde por Linneo en 1737 (Dufault, 2008). La soya fue llevada a los Estados Unidos de América a mediados de los años 1700 para la producción de salsa de soya y para la investigación científica sobre sus posibles usos como cultivo de campo. En 1899, la USDA publicó su primer boletín sobre el uso de la soya como cultivo forrajero. Posteriormente, en 1904 para su evaluación como fuente de proteína y aceite. En 1907 se utilizó la soya comercial en EE.UU. con el establecimiento de una planta procesadora de frijol oriental de Inglaterra (Dufault, 2008). A partir de 1909, la producción de soya se extendió desde la costa este a los estados del centro y

provincias de EE.UU. y Canadá (USDA, 2009). Las mayores áreas de producción de los EE.UU. se encuentran en los estados de Iowa, Illinois, Minnesota, Indiana y Nebraska. Veintiséis estados más conforman el otro tercio restante que cultiva soya, incluyendo a Tennessee, Kentucky, Dakota y Kansas (Thorson, 2007).

La introducción de la soya en algunos países de América data del siglo XVIII. En el decenio de 1970, México fue uno de los primeros países latinoamericanos que desarrolló diferentes productos con soya y donde se ha utilizado la proteína de soya en un porcentaje de 20 a 30% para enriquecer o sustituir a las proteínas de origen animal de varios productos y hacerlos de esta manera más económicos (Torres y Tovar, 2009).

2.2. Importancia mundial y nacional

La soya es uno de los cultivos con mayor crecimiento de área a escala mundial en el último siglo. La producción mundial de soya en el año 2011 fue de 264, 972, 690 millones de toneladas. Los principales productores son Estados Unidos con 90 millones, Brasil 68, Argentina 52.6, China 15, India 12 y Canadá 4.3 millones de toneladas. China es el primer consumidor mundial de soya. (FAOSTAT, 2011).

México es considerado el cuarto importador de soya a nivel mundial, después de Japón, la Unión Europea y China. En el 2010 y parte del 2011 se estimó una importación de 3.6 millones de toneladas de soya (ASERCA, 2010). La superficie de este cultivo aumentó considerablemente en el 2005 con una superficie sembrada de 106,161 ha. Posteriormente se observó otro aumento significativo en el 2010 que incremento a 165, 010 ha. En México la producción de soya es de 205, 234 toneladas en 2011. Los

principales estados productores son: Tamaulipas (41.4%), San Luis Potosí (23%), Campeche (14%), Chiapas (12%) y Veracruz (5%) (Figura 1) (FAOSTAT, 2011).

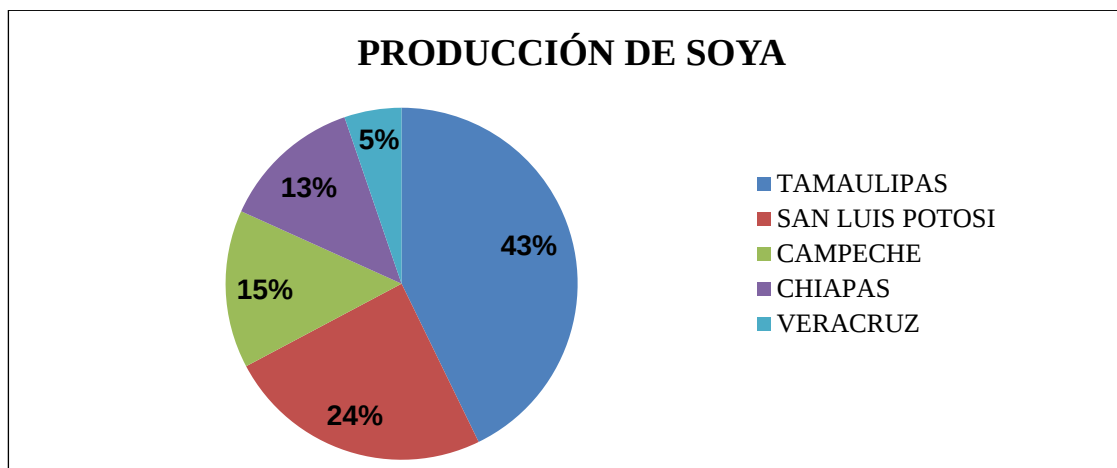


Figura 1. Principales estados productores de soya en México. (FAOSTAT, 2011).

2.3. Ubicación taxonómica

De acuerdo con la clasificación taxonómica de Verdcourt (1966), citada por Ratnaparkhe *et al.*, (2011), la soya se clasifica de la siguiente manera:

División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Fabales
Familia:	Fabaceae (Leguminosae)
Subfamilia:	Papilionoideae
Tribu:	Phaseoleae
Subtribu:	Glycininae
Género:	<i>Glycine</i> Willd.
Especie:	<i>max</i> (L.) Merr

2.4. Descripción de la soya (*Glycine max*)

2.4.1. Descripción de las fases de desarrollo

La escala desarrollada por Fehr *et al.*, (1971) es la más utilizada para la descripción de las etapas fenológicas del cultivo de la soya (cuadro 1 y 2). Esta escala distingue dos etapas principales: la etapa vegetativa y la reproductiva (figura 2); ambas se describen a continuación:

Cuadro 1. Fase vegetativa de la soya

Símbolo	Denominación	Descripción
VE	Emergencia	Emergencia de los cotiledones sobre la superficie del suelo.
VC	Etapas cotiledonar	Cotiledones expandidos con las hojas unifoliadas de tal modo que los bordes de las hojas no se toquen.
V ₁	Primer nudo	Hojas unifoliadas expandidas, con la primera hoja trifoliada abierta de tal modo que los bordes de cada foliolo no se toquen.
V ₂	Segundo nudo	Primer trifolio expandido y la segunda hoja trifoliada abierta de tal modo que los bordes de cada foliolo no se toquen
V ₃	Tercer nudo	Segundo trifolio expandido y la tercera hoja trifoliada abierta de tal modo que los bordes de cada trifolio no se toquen.
V _n	Enésimo nudo	Enésimo nudo con trifolio abierto sobre el tallo principal, con hojas trifoliadas abiertas, antes de la floración.

Cuadro 2. Fase reproductiva de la soya

Símbolo	Denominación	Descripción
R ₁	Inicio de floración	Una flor abierta en cualquier nudo del tallo principal
R ₂	Floración completa	Una flor abierta en uno de los nudos superiores del tallo principal con hojas totalmente desplegadas
R ₃	Inicio de floración de vainas	Una vaina de 5 mm de largo en uno de los 4 entrenudos superiores
R ₄	Vainas formadas	Vaina con 2 cm en alguno de los cuatro entrenudos superiores.

R ₅	Inicio de formación de semilla	Cuando la vaina, en algunos de los cuatro entrenudos superiores empieza a llenar y el grado tenga el tamaño de una lenteja.
R ₆	Semilla completamente desarrollada	Cuando la vaina en alguno de los entrenudos superiores, tenga el grano del tamaño de un chícharo, el follaje de la planta este aún verde.
R ₇	Inicio de maduración	Las vainas en alguno de los cuatro entrenudos superiores empieza a tomar un color amarillo tenue, las hojas se tornan amarillas y empiezan a caer.
R ₈	Maduración completa	Cuando las vainas tienen un color café o gris en alguno de los cuatro entrenudos superiores.



Figura 2. Desarrollo fenológico del cultivo de soya.

2.5. Variedades de soya

2.5.1. Variedades en México

En la actualidad no existen variedades de soya tolerantes a la roya asiática de la soya. El INIFAP a través del Campo Experimental Sur de Tamaulipas generó y puso a disposición de los productores de la región las variedades Huasteca 100, Huasteca 200 (Maldonado, 1994), Huasteca 300 y Huasteca 400 (Maldonado y Ascencio, 2005 a y b), de las cuales se desconoce aún su reacción a esta enfermedad. Estas variedades tienen atributos y especificaciones diferentes para que sean utilizadas dependiendo de la época en que se realice la siembra.

Las características de las variedades se describen en los párrafos siguientes:

Huasteca 100. El período óptimo de siembra de esta variedad es del 15 de junio al 15 de julio, ya que en esta época la variedad puede expresar un rendimiento de 3,800 kg/ha. Después de esta época no se recomienda su siembra, ya que el potencial de rendimiento disminuye, así como la altura de planta cuyo crecimiento es menor a 70 cm.

Huasteca 200. Esta variedad se recomienda sembrar del 15 de junio al 20 de julio, en surcos amplios de 76 cm a 80 cm y densidades de población de 150 a 200 mil plantas por hectárea. Lo anterior puede expresar un potencial de rendimiento de 2,934 kg/ha.

Huasteca 300. El mejor comportamiento de esta variedad se obtiene al sembrarse del 15 de junio al 15 de julio, ya que su periodo de llenado de grano coincide con la época de mayor probabilidad de lluvia de septiembre y puede expresar un potencial de rendimiento de 3,708 kg/ha. Además, esta variedad tiene un tipo de planta de “línea delgada”, por lo que ramifica poco, posee un dosel abierto y erecto; esta característica

favorece la penetración de los agroquímicos que se requiere que lleguen al tercio inferior de la planta, para lograr un control efectivo de la enfermedad.

Huasteca 400. Una de las características de esta variedad es su ciclo corto, ya que madura a los 111 días si se siembra a mediados de julio, por lo que llega a la madurez fisiológica antes que las otras variedades; en siembras del 20 de julio alcanza una altura de planta promedio de 80 cm. Tiene un potencial de rendimiento de 3,319 kg/ha bajo condiciones de buena humedad.

2.5.2. Variedades con genes resistentes a *Phakopsora pachyrhizi*

La resistencia de la soya a *P. pachyrhizi* fue reportada por primera vez en 1960 y 1970. Posteriormente, en 1980 cinco genes de resistencia (Rpp1, Rpp2, Rpp3, Rpp4 y Rpp5) fueron identificados (Calvo *et al.*, 2008; Bonde *et al.*, 2006; Bromfiel, 1984; García *et al.*, 2008; X. Li *et al.*, 2010). Y para 1984 se confirmaron cuatro genes que confieren resistencia específica (Bromfiel, 1984). La resistencia específica a *P. pachyrhizi* tiene siete genes dominantes que controlan el patotipo específico de la resistencia a la roya de la soya; estos se han identificado en cinco locus (3-5, 9-11, 15, 26) (Bonde *et al.*, 2006; Paul y Hartman 2009; Miles *et al.*, 2011; Pham *et al.*, 2009). Las tres respuestas de las plantas que han demostrado estar asociados con un solo gen dominante de resistencia a la roya de soya son: la respuesta inmune (IR), lesiones de color marrón rojizo (RB), resistencia incompleta y las lesiones susceptibles (TAN) (Bromfield, 1984). Hasta la fecha, el IR se ha otorgado sólo por el gen Rpp1 obtenido de la adhesión de la soya PI 200492 (Miles *et al.*, 2011).

Pham *et al.*, (2010) evaluaron genotipos de soya resistentes a roya asiática en Vietnam y concluyeron que los genotipos de soya: PI 398998, PI 437323 y PI 549017 mostraron resistencia a roya asiática.

Miles *et al.*, (2011) evaluaron y obtuvieron los genotipos de soya: PI 230979 (Rpp2), PI 459025b (Rpp4) y PI 594538A (Rpp1b) con rasgos asociados a la resistencia incompleta o parcial de *P. pachyrhizi*. Recientemente, Maphosa *et al.*, (2012) identificaron el genotipo de soya 5UG con el gen G7955 (Rpp3) como fuente útil de resistencia a la roya.

2.6. Roya Asiática (*P. pachyrhizi*)

2.6.1. Origen y distribución

Por más de veinte siglos este patógeno se localizó en el continente Asiático (Miles *et al.*, 2003). Posteriormente, la roya asiática se extendió por todo el mundo y fue reportada en otras regiones (figura 3) (Bromfiel, 1984; Cárcamo *et al.*, 2006; Ivancovich, 2005; Kawuki *et al.*, 2003; Levy, 2005; Margosian *et al.*, 2009; Shathe, 1972; Yorinori *et al.*, 2004; Yorinori *et al.*, 2005). Se creó que el huracán Iván llevó las esporas de *P. pachyrhizi* de América del Sur a los Estados Unidos (Isard *et al.*, 2005) antes de que esta fuera reportada por Schneider *et al.*, (2005) en noviembre de 2004.

La roya de la soya causada por *P. pachyrhizi* fue identificada por primera vez en Japón en 1902 (Moore, citado por Pérez, 2007). Subsecuentemente se le ubicó en la India en 1906, Australia en 1934 y China en 1940, Asia en 1950 y en Rusia a mediados de 1957 donde permaneció confinada por muchos años (Ploper, 2004; Sinclair y Hartman, 1996). En el continente Americano se le reportó por primera vez en Argentina en 2001,

posteriormente en Paraguay y Brasil en 2002 (Yorinori *et al.*, 2005); en el 2003 se confirmó su presencia en Bolivia (Terán-Vargas *et al.*, 2007) y en Ecuador en el 2005 (Soto-mayor-Herrera, 2005). En 1994 se detectó en Hawái (Terán-Vargas *et al.*, 2007). En los Estados Unidos se detectó en el 2004 (Schneider *et al.*, 2005).

En México la roya asiática se detectó por primera vez en noviembre de 2005 en los municipios de Ébano y Tamuín, San Luis Potosí y Altamira, Tamaulipas en siembras comerciales de soya establecidas con la variedad Huasteca 200 y Huasteca 400 (figura 4) (NAPPO 2006; Rodríguez *et al.*, 2006). En febrero y marzo de 2006 se presentó en la región de la Huasteca en siembras de soya de otoño-invierno y en plantas voluntarias de soya (nacencias) dentro de los cultivos de cártamo, sorgo y maíz, respectivamente. En el año 2006 se le reportó en el municipio de Papantla, Veracruz, afectando 1800 hectáreas del cultivo de jícama (NAPPO 2007; Terán-Vargas *et al.*, 2007). Posteriormente se reportó en el suroeste de Chiapas (NAPPO 2008) y, en el 2008, en Campeche (Yáñez *et al.*, 2009). En 2009, se registró roya en el norte y sur de Tamaulipas (municipios de Aldama, Mante, González, Xicoténcatl, Valle Hermoso, Río Bravo y Gómez Farías), norte de Veracruz (Pánuco, Papantla, Chalma y Tampico Alto), Chiapas (Mastepec y Tapachula) y Campeche (Terán-Vargas *et al.*, 2007). Para abril de 2010, sólo se reportó en los municipios de González, El Mante, Altamira y Aldama, Tamaulipas (SAGARPA, 2010).

Los estados susceptibles de ser afectados se encuentran distribuidos en todo el país, ya que la superficie de siembra destinada para el cultivo de soya se incrementa cada año. Por ejemplo, en 2007 se sembraron 73,191 ha, en el 2008 ya había 88,093 ha y para el 2009 se reportaron 92,338 ha. De 2007 a 2009 la cantidad de estados productores cambio de 7 a 10 (SIAP, 2010).

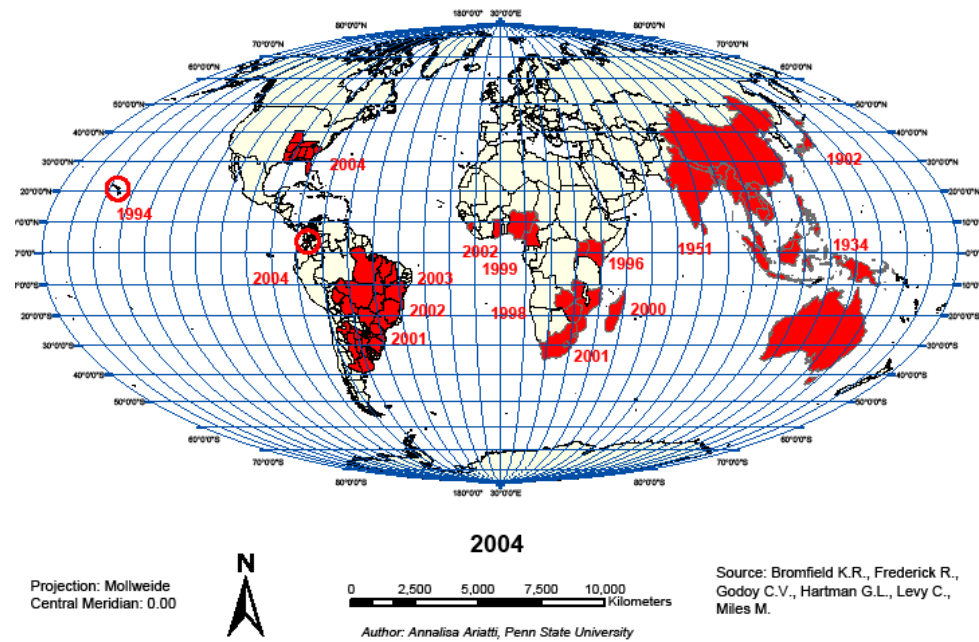


Figura 3. Presencia de la roya de la soja causada por *Phakopsora pachyrhizi* a nivel mundial (Kurle et al., 2007).

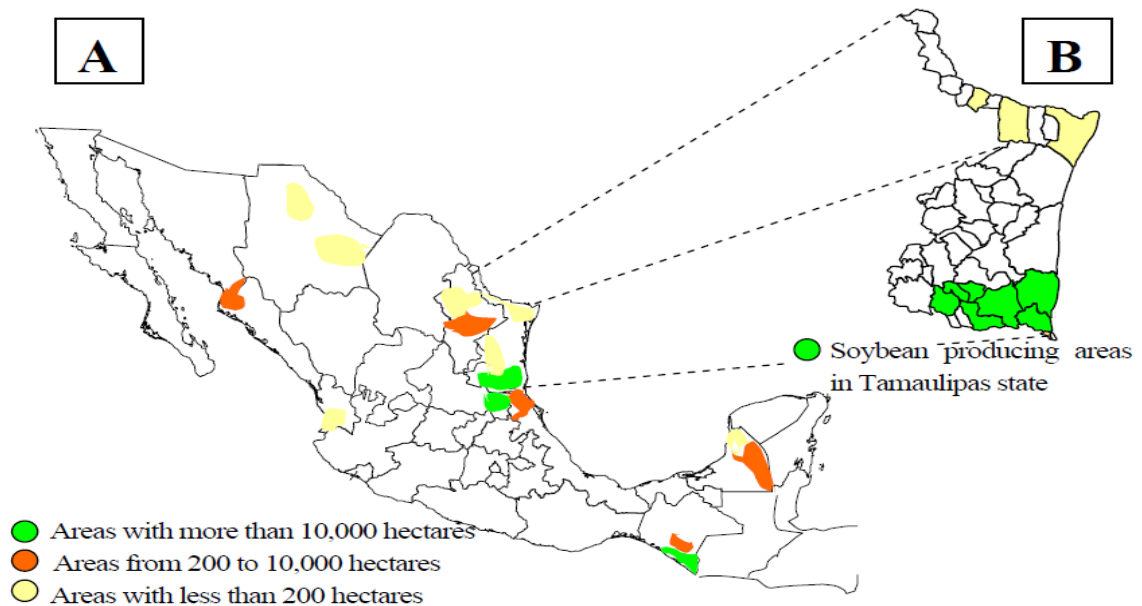


Figura 4. A) Áreas de cultivo de soja en México, B) Áreas de cultivo en el estado de Tamaulipas, México. Adaptado por SIAP, SAGARPA (2005).

2.6.2. Taxonomía y morfología del agente causal

La roya asiática *P. pachyrhizi* se clasifica en:

Reino:	Fungi
Phyllum:	Basidiomycota
Clase:	Urediniomycetes
Orden:	Uredinales
Familia:	Phakopsoraceae
Género:	Phakopsora
Especie:	<i>Pachyrhizi</i>

(Goellner *et al.*, 2010).

2.6.3. Importancia económica

La roya asiática representa un serio problema para los cultivos de soya, frijol y jícama. Hartman *et al.*, (1999) relatan que desde 1902 la roya asiática era altamente agresiva, causando daños de 10 a 40% en Tailandia, 10 a 90% en la India, 10 a 50% en el sur de China, 23 a 90% en Taiwán y 40% en Japón. En Asia se han reportado pérdidas de 80 a 100% (Miles *et al.*, 2003, 2004), en Zimbabue daños de 60 a 80%, en Sudáfrica de 100%, mientras que en Australia de 60 a 90% (Balardín, 2004; Terán-Vargas *et al.*, 2007). En el sur de Brasil se citan daños que alcanzaron el 100% (Andrade y Andrade, 2002). En México en la región de las Huastecas se observaron daños de 50 a 100% en el cultivo de soya, y de 90% en el cultivo de jícama (Terán-Vargas *et al.*, 2007).

2.6.4. Sintomatología

La soya es susceptible al ataque de la enfermedad en cualquier etapa de desarrollo, sin embargo, se ha observado mayor susceptibilidad durante la floración (Muller *et al.*, 2008; Terán-Vargas *et al.*, 2007). Los síntomas generalmente se presentan en toda la parte aérea de la planta poco antes o durante la floración y en el llenado del grano. Los primeros signos se observan en las hojas inferiores, estas son pequeñas lesiones angulares poligonales que varían de tamaño de 0.5, 1 y 5 mm de diámetro (Dufaul, 2008; Pérez, 2007; Terán-Vargas *et al.*, 2007) de color gris y cambiando a marrón claro o marrón rojizo, delimitadas por las venas en el haz de las hojas (figura 5). El color de la lesión depende de la edad de la misma y de la interacción con el genotipo del huésped (Jarvie, 2009). Conforme avanza la enfermedad hacia el tercio medio y superior de la planta las hojas se tornan amarillentas y las lesiones se manifiestan como pequeñas pústulas de color marrón-amarillento a marrón-rojizo u oscuro (figura 6). Las pústulas (uredios) al madurar se abren como un poro circular y exudan masas de esporas (uredosporas) (figura 7) (Mueller *et al.*, 2008). Estas son fácilmente visibles en el envés de las hojas con el auxilio de una lupa de 30X (Terán-Vargas *et al.*, 2007).



Figura 5. Enfermedad avanzada se observan manchas que se agrupan junto a las venas.



Figura 6. Pústulas en el envés de la hoja de soya

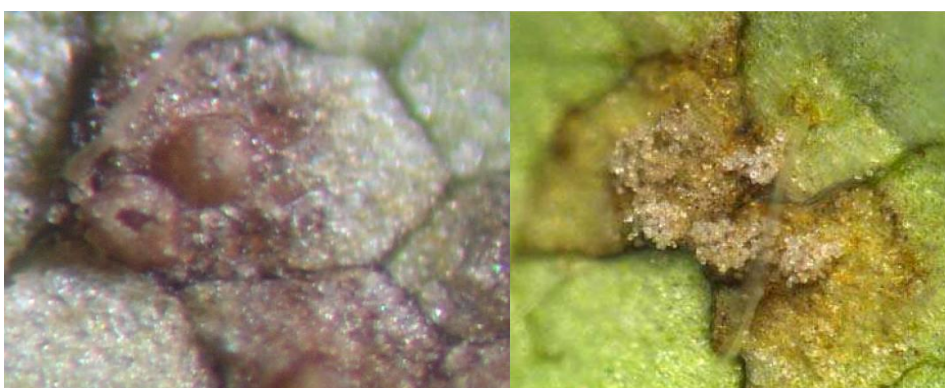


Figura 7. Pústulas (uredios) produciendo masa de esporas (uredosporas) (Loehrer y Schaffrath, 2011).

Los síntomas de la roya pueden ser confundidos con otras enfermedades foliares del cultivo de la soya como la mancha marrón causada por el hongo *Septoria glycines* (cuadro 3), pústula bacteriana causada por *Xanthomonas campestris* pv. *glycines* (Jarvie, 2009) y mildiu veloso causado por *Peronospora manchurica*, principalmente (Hershman *et al.*, 2011; Ploper y Devani, 2002; Terán-Vargas *et al.*, 2007). Estas producen síntomas similares a los ocasionados por la roya asiática de la soya, sin embargo, en ningún caso se observa la formación de pústulas en el envés de la hoja, a excepción de *Phakopsora meibomia* cuya sintomatología es similar (Terán-Vargas

et al., 2007) y que solo puede ser diferenciada mediante técnicas de PCR (Barnes *et al.*, 2009).

Cuadro 3. Enfermedades de la soya que pueden confundirse con la roya asiática.

MANCHA MARRÓN <i>Septoria glycines</i>	MILDIU VELLOSO <i>Peronospora manshurica</i>	PÚSTULA BACTERIANA <i>Xanthomonas campestris</i> <i>pv. glycinea</i>
Causa pequeñas manchas, de forma irregular, de color marrón oscuro, dispersas sobre la superficie inferior y superior de las hojas. Las manchas adyacentes frecuentemente se unen para formar áreas muertas más grandes. Al final de la temporada, las hojas afectadas pueden volverse de color amarillo o naranja-marrón y caer prematuramente. Esta enfermedad es muy común, y es generalmente una de las primeras en aparecer en plantas jóvenes, a partir de la etapa V2, se inicia en la parte inferior de la planta y se mueve hacia arriba si las condiciones son favorables (cálido-húmedas).	Causa manchas de color verde claro a amarillo, de forma irregular sobre el haz de las hojas superiores. En el envés de las hojas, el hongo puede ser visto creciendo fuera del centro de las manchas. Por lo general se produce a mediados o finales de temporada en un clima cálido y húmedo. La mayor severidad se presenta a partir de tres o cuatro hojas trifoliadas y en el haz de la hoja.	Causa pequeñas manchas angulares de color verde amarillento con centro marrón rojizo. Las manchas pueden unirse entre sí para formar grandes áreas irregulares necróticas que se rompen y separan con el viento y la lluvia. Las pústulas pueden verse en el envés de la hoja. Esta enfermedad se observa en las hojas en la parte superior de la planta. Las condiciones favorables son las altas temperaturas y precipitaciones superiores a la media.



¿Cómo difiere esta de la roya asiática?

Las manchas son más angulares, y no hay pústulas en el envés de la hoja.



¿Cómo difiere esta de la roya asiática?

Las manchas son más grandes, hay pústulas en el envés de la hoja y el crecimiento del hongo rara vez se puede ver.



¿Cómo difiere esta de la roya asiática?

Las pústulas no están asociadas con cada lesión, no tienen esporas y se abren en forma de grietas en lugar de poros redondos.

Fuente. (Mueller *et al.*, 2008)

2.6.5. Ciclo del hongo

La roya asiática es un patógeno policíclico (Ploper, 2004). El ciclo de vida de *P. pachyrhizi* es típico de la mayoría de los otros hongos de la roya con algunas particularidades (Tremblay, 2011). Sólo las etapas uredial y telial son conocidos en *P. pachyrhizi*. La etapa uredial produce esporas llamadas uredosporas responsables de las infecciones (Pérez, 2007). Estas son liberadas de los uredios a través de un ostiolo y dispersadas por el viento (Goellner *et al.*, 2010). En campo la etapa telial no se ve comúnmente en cultivo de soja, pero si se ha observado en otros huéspedes a finales de la temporada (Bromfiel, 1984; Carmona y Gally, 2005; Pérez, 2007; Yeh *et al.*, 1981). En condiciones apropiadas las uredosporas germinan desarrollando un tubo germinativo que crece en la superficie de la hoja (figura 8) (Goellner, 2010; Koch y Hoppe, 1987). Dando paso al proceso de infección con la penetración en las células epidérmicas

mediante la construcción de una estructura interna denominada cono apresorial (Bromfiel, 1984). La penetración es de forma directa, es decir no requiere estomas, heridas o aberturas naturales de la hoja (figura 9). Sin embargo, se ha observado entrando a través del conjunto de las células epidérmicas adyacentes (Bonde *et al.*, 1976). También se puede dar la penetración a través de los estomas en plantas no hospederas como la cebada; llegando a colonizar el mesófilo pero sin esporular (Goellner *et al.*, 2010). La hifa derivada del cono apresorial crece a través de la célula epidérmica y llega al espacio intercelular donde se forma un tabique que la separa de la hifa primaria (Koch *et al.*, 1983) denominada hifa invasora (Bromfield, 1984). Esta estructura se adentra al mesófilo, enseguida se alarga y divide para formar hifas secundarias, y finalmente se forma un haustorio cilíndrico o globoso (Koch *et al.*, 1983; Koch *et al.*, 1983b; Pérez, 2007; Sato y Sato, 1982; Tremblay, 2011) que es el órgano esencial de alimentación del patógeno (Loehrer y Schaffrath, 2011). Una vez que se establece con éxito el haustorio, el micelio fúngico coloniza el tejido huésped y comienza nuevamente la producción de nuevas uredias y pústulas completando el ciclo (Koch *et al.*, 1983), lo cual ocurre de 5 a 8 días después de la colonización y nuevas uredias continúan formándose durante 2 a 3 semanas a partir de la infección primaria (Yeh *et al.*, 1982).

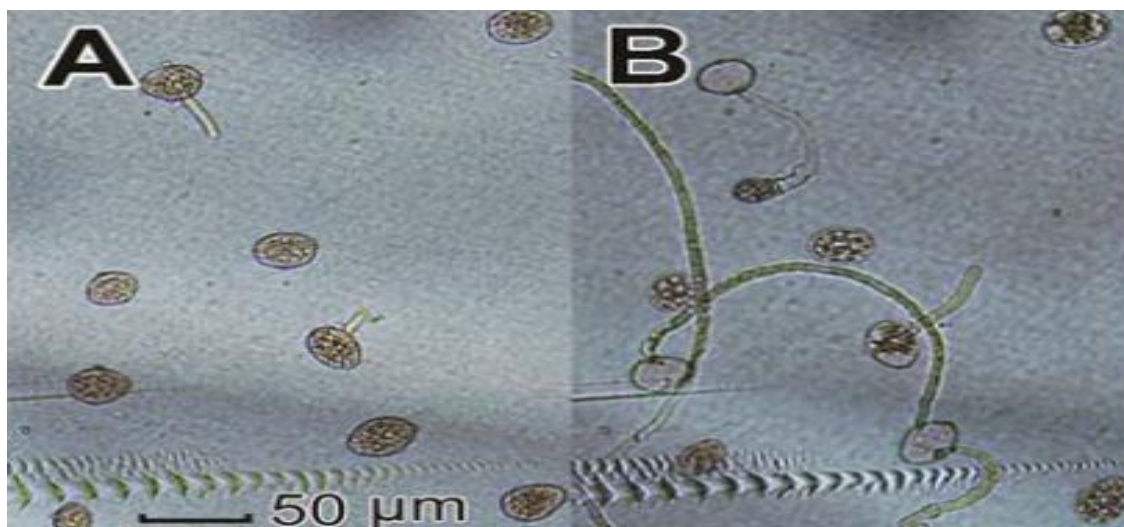


Figura 8. Morfología e ilustración de la germinación de las uredosporas de *Phakopsora pachyrhizi* bajo un microscopio compuesto. A) Germinación del tubo y crecimiento después de 2 h. B) crecimiento de los tubos germinales y la diferenciación del apresorio de las uredosporas después de 8 h (X. Li *et al.*, 2010).

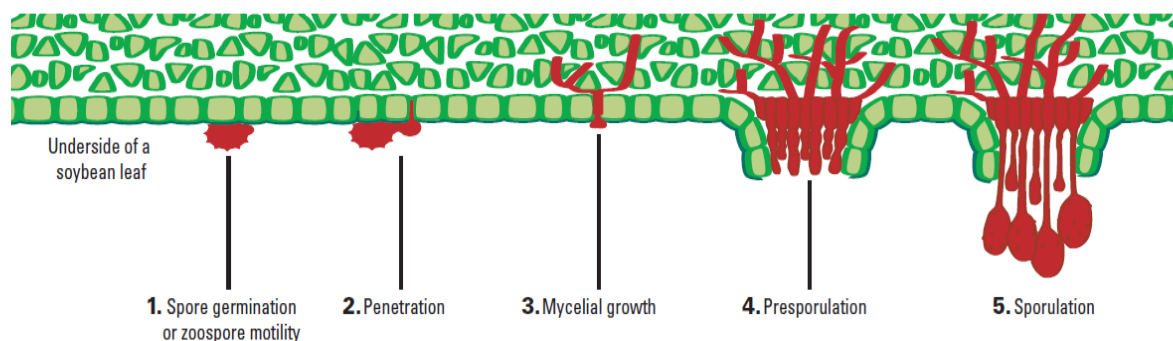


Figura 9. El proceso de infección tarda unos 10 días a partir del contacto de la espóra con la hoja, desde la colonización de la hoja a la producción de uredosporas (Miller *et al.*, 2005).

2.6.6. Epidemiología

Comprender la epidemiología de *P. pachyrhizi* requiere de una cuidadosa consideración de todos los componentes del patosistema, así como del proceso de infección y de los efectos del medio ambiente (Pérez, 2007). En algunas regiones de América del Sur, Asia

y África la enfermedad se considera endémica (Tweert y Van Rij, 2004; Yorinori *et al.*, 2003; Yorinori, 2005). Las condiciones climáticas afectan en gran medida el desarrollo de las plantas de soya, así como del desarrollo de la enfermedad de la roya (Pérez, 2007).

Por lo general, el patógeno se presenta en toda la parte aérea de la planta provocando defoliación prematura, de esta manera afecta el llenado y número de semillas por vaina (Cárcamo *et al.*, 2006). La presencia de un huésped susceptible, esporas viables del patógeno y condiciones ambientales adecuadas son requisitos para el desarrollo de una epidemia por *P. pachyrhizi* (Jarvie, 2009).

P. pachyrhizi es un parásito biotrófico (obligado) (Goellner *et al.*, 2010), ya que sobrevive en plantas voluntarias de soya (nacencias de soya) y hospederas alternantes (Torres y Tovar, 2009). Se han citado 31 especies en 17 géneros de leguminosas que son hospedantes de *P. pachyrhizi* (Ploper y Devani, 2002). Es un patógeno policíclico, ya que durante un ciclo de cultivo se producen varias generaciones del patógeno. Las uredosporas pueden sobrevivir hasta 50 días y son dispersadas con facilidad por el viento, lo que posibilita a la enfermedad a ser diseminada a grandes distancias (Ploper y Devani, 2002). Sin embargo, el progreso de la enfermedad se ve afectado por múltiples factores como la temperatura, duración de la humedad en la hoja, radiación, nubosidad y precipitación (Del Ponte *et al.*, 2006; Isard *et al.*, 2006). Así como factores relacionados con el hospedante (variedad, edad de la planta, edad de la hoja, estado fenológico y geometría del cultivo) y factores relacionados con el patógeno como la edad de las uredosporas, densidad de inóculo, edad y localización del uredinio, edad de la lesión, tamaño de la lesión, periodo latente, producción de esporas, periodo infeccioso y eficiencia en la infección (Del Ponte *et al.*, 2006, 2008; Isard *et al.*, 2006; Pivonia y

Yang, 2006). De los factores anteriormente descritos, el más importante es la temperatura (Jarvie, 2009). Se menciona que la temperatura óptima para la germinación de uredosporas es de 12 y 27 °C (Keogh, 1974; Marchetti, *et al.*, 1976). Mientras que la temperatura óptima para la formación de uredios es de 17 °C (noche) y 27 °C (día) (Kochman, 1979). En este mismo sentido, Ploper (2004) reportó que temperaturas de 18 a 25 °C y humedad relativa alta (75-80%) son las condiciones óptimas para el desarrollo de la enfermedad. Por otro lado, Melching *et al.*, (1989) dicen que 10 a 12 horas de humedad en la hoja y temperaturas entre 15 y 28 °C son consideradas óptimas para la infección. En este sentido, Hartman (2004) reportó que la mayor tasa de infección se presentó con períodos de 10 a 12 horas de rocío, también mencionó que en condiciones óptimas las esporas germinan de 1 a 4 horas después de la deposición en la superficie de la hoja, y que la penetración ocurre en 6 horas a temperatura de 20 a 25 °C. Mientras que Tan (1994) determinó que la temperatura óptima para que las uredosporas germinen es de 15 a 26 °C, y para la penetración de las uredosporas es de 22 a 26 °C, mientras que a 28 °C no ocurre la penetración.

Otro factor importante que interviene en el desarrollo de la roya asiática es la precipitación, ya que el mayor desarrollo del patógeno ocurre cuando la precipitación está bien distribuida a través de la estación de crecimiento. Por lo que la severidad de la roya está positivamente correlacionada con el número de días con lluvia durante el llenado de vaina (Hartman, 1995; Tschanz, 1982). Tan *et al.*, (1996) mencionan que precipitaciones de 150 mm y de 10 a 15 días de lluvia pueden generar un ambiente adecuado para las epidemias de *P. pachyrhizi* si hay suficiente inóculo inicial.

Twizeyana y Hartman (2010), reportan que si las uredosporas son expuestas a 92.5% de humedad relativa, la germinación es alta pero disminuye rápidamente después de 10

días, debido a que las esporas contienen una mayor porción de agua en estado libre y menos reservas de alimentos disponibles en el protoplasma.

El periodo de latencia oscila entre 7 y 14 días dependiendo del régimen de temperatura. Lo anterior, permite varios ciclos de la enfermedad dentro de la temporada de crecimiento del cultivo (Kochman, 1979; Marchetti *et al.*, 1976). Pivona y Yang (2006) mencionan que el periodo latente de *P. pachyrhizi* está en el rango de 13 días a 15.4 °C, y a 6 días si la temperatura oscila entre 28 °C. Mientras que Kochman (1979) menciona que el periodo latente puede presentarse en 9 y 14 días si se registran temperaturas de 12 y 22 °C. Si se presenta una temperatura de 27 °C el período se acelera a 11 días. En este mismo sentido, Casey (1981) encontró que dentro de un campo, la velocidad de propagación de la roya varía de 0.15 hasta 0.45 m/día con una tasa de infección aparente de 0.045-0.050 unidades/día.

Otros factores relevantes en el desarrollo de epidemias de roya asiática es la amplia gama de hospederos alternantes (Bromfield, 1984; Keogh, 1978; Tzchanz, 1982), la existencia de razas fisiológicas del patógeno (Fujiwara *et al.*, 1998, Yamaoka *et al.*, 2002) y la posible variabilidad genética intra-específica de la roya (Pérez, 2007).

2.6.7. Hospederos

A diferencia de la mayoría de las royas que tienen pocas especies de hospederos, *P. pachyrhizi* cuenta con 95 especies en 42 géneros de la familia Fabaceae (Jarvie, 2009).

La mayor parte de los hospederos alternantes de *P. pachyrhizi* registradas en el mundo se encuentran en el continente Americano, desde Canadá hasta Argentina. En Canadá se han encontrado 7 especies de plantas silvestres que están consignadas como hospederas,

mientras que en Argentina se registraron 91 especies que potencialmente pueden ser atacadas por el hongo (Neumann, 2004; Terán-Vargas *et al.*, 2007).

En Estados Unidos el principal hospedero de la roya asiática es el kudzu (Pivona y Yang 2004, 2006; Young *et al.*, 2011). Mientras que en México es el cultivo de soya y jícama (Terán-Vargas *et al.*, 2007). Las plantas hospedantes son importantes, ya que en ellas el patógeno puede desarrollarse (cuadro 4) (Terán-Vargas *et al.*, 2007).

Cuadro 4. Hospederos alternantes más comunes de la roya asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) en América.

Nombre científico	Nombre común
<i>Alyscarpus glumaceus</i>	Especie de trébol
<i>Cajanus cajan</i>	Guandú o chícharo silvestre
<i>Centrosema pubescens</i>	Centrosema o chícharo mariposa
<i>Crotalaria anagyroides</i> *	Manduvira
<i>Delonix regia</i> *	Flamboyán
<i>Desmodium sp.</i> *	Carrapiceo
<i>Glycine clandestina</i> *	Soya
<i>Glycine tabacina</i>	Soya
<i>Glycine falcata</i>	Soya
<i>Glycine tabacina var. Latifolia</i>	Soya
<i>Lablab purpureus</i>	Frijol Jacinto
<i>Lorus americana</i>	
<i>Lupinus hirsutus</i>	Lupino azul
<i>Macroptilium atropurpureum</i>	Siratiro o frijol morado
<i>Maocrotyloma axillare</i>	Macrotiloma
<i>Medicago arborea</i>	Alfalfa gigante
<i>Melilotus officinalis</i> *	Trébol
<i>Melilotus speciosus</i>	Especie trébol
<i>Mucuna cochinchinensis</i>	Mucuna o frijol terciopelo
<i>Neonatonia wightii</i>	Soya perenne
<i>Pachyrhizus erosus</i> *	Jícama
<i>Phaseolus lunatus</i> *	Frijol lima
<i>Phaseolus vulgaris</i> *	Frijol común
<i>Pueraria lobata</i> *	Kudzu
<i>Pueraria phaseoloides</i>	Kudzu tropical
<i>Rhynchosia minima</i>	
<i>Sesbania exaltata</i> *	Sesbania
<i>Sesbania vesicaria</i> *	Sesbania
<i>Trigonella foenumgrasecum</i>	Fenugreco

Vicia dasycarpa
*Vigna unguiculata**
Vigna radiata

Vaina morada
Caupí o sarabando

*Especies presentes en México.

(Yorinori, citado por Terán-Vargas et al., 2007).

2.6.8. Manejo de la Roya asiática

2.6.8.1. Muestreo

El muestreo debe iniciarse antes de la floración o al presentarse las condiciones de temperatura y humedad propicias para el desarrollo de la enfermedad. Lo anterior se hace examinando las hojas del tercio inferior de la planta, tratando de encontrar un manchado amarillento y pústulas en el envés de las hojas, así mismo es importante detectar las áreas del cultivo con coloración amarillento o café y las zonas con mayor densidad de plantas, aun si no se encuentran dentro del trazo del recorrido de muestreo (Terán-Vargas *et al.*, 2007).

2.6.8.2. Control Cultural

Las prácticas culturales como la fecha de siembra, distancia entre surcos y la rotación de cultivos tienen poco o ningún efecto sobre la roya asiática (Shaner *et al.*, 2005). Sin embargo, algunas prácticas culturales pueden ser eficaces dentro de un programa de manejo integrado de la roya. Por ejemplo, un buen control de malezas puede reducir los niveles de inóculo al eliminar las malezas hospedantes del hongo. Mantener buenos niveles de fósforo en el suelo puede ayudar a disminuir la incidencia de roya. Asimismo, en zonas con riego es preferible regar durante el mediodía para facilitar el secado de las hojas o bien durante la noche para no extender el número de horas de rocío (Popler y Devani, 2002).

2.6.8.3. Control genético

A largo plazo las variedades resistentes puede ser el medio más económico en el manejo de roya asiática. En diversos países de Asia se han hecho numerosos estudios buscando resistencia a la roya. En India se evaluaron 3,300 genotipos en 1971 y 4,066 en 1974, encontrando sólo 6 genotipos resistentes. En China, en 1996, se identificaron 64 genotipos resistentes en más de 8,000 genotipos estudiados. Mientras que en Taiwán se encontraron 20 resistentes en más de 9,000 genotipos evaluados. Científicos en África han enfocado sus investigaciones en el desarrollo de germoplasma resistente a la enfermedad (Levy, 2005). Twizeyimana *et al.*, (2008) evaluaron 178 líneas de reproducción de soya y reportaron que algunas de estas líneas pueden ser utilizadas para la incorporación de genes de resistencia. En años anteriores, se identificaron 4 genes de resistencia: Rpp₁ (McClean y Byth, 1980), Rpp₂ (Bromfiel *et al.*, 1980), Rpp₃ (Bromfield y Hartwig, 1980; Bromfiel *et al.*, 1980; Hartwig y Bromfield, 1983) Rpp₄ (Hartwig, 1986) en los genotipos de soya: PI 200692, PI 230970, PI 462312 y PI 459025, respectivamente (Ploper y Devani, 2002). La resistencia observada a partir de estos genes individuales no ha sido duradera cuando se enfrentan a múltiples aislamientos de *P. pachyrhizi* (Hartman *et al.*, 2005; Miles *et al.*, 2003). Por lo que, la resistencia parcial a *P. pachyrhizi* se ha observado en la soya pero ha tenido un uso limitado en los programas de reproducción (Hartman *et al.*, 2005). En la actualidad, se están estudiando más de 16,000 genotipos de soya en la colección de germoplasma del USDA para identificar la resistencia a roya (Hartman *et al.*, 2005; Miles *et al.*, 2006, 2008).

2.6.8.4. Control Químico

El método más utilizado para el manejo de esta enfermedad es el químico, realizando aplicaciones de fungicidas al follaje apenas se detecten los primeros síntomas. Los objetivos de la aplicación de fungicidas son la reducción de la carga de esporas en las hojas inferiores y la protección de las hojas medias y superiores (Ploper y Devani, 2002). Los fungicidas se aplican con base en un calendario (Levy, 2005; Miles *et al.*, 2007) y en la utilización de un sistema de monitoreo que pronostica el desarrollo de la enfermedad en las zonas que son fuentes potenciales de inóculo (Tremblay, 2011). Uno de los primeros fungicidas usados para el control efectivo de roya fue el mancozeb (Hartman *et al.*, 1992). Actualmente, diversos fungicidas han sido mencionados como efectivos, entre estos se encuentran varios de contacto (mancozeb y otros), los triazoles (cyproconazole, tebuconazole, difenoconazole, epoxiconazole, etc.) y las estrobilurinas (azoxistrobina, pyraclostrobin, y trifloxystrobin) (Ploper y Devani, 2002). Ensayos más recientes en la India (Patil y Anahosur, 1998) y el sur de África (Levy, 2003) identificaron los compuestos de triazol de flusilazol, difenoconazol y triadimenol como fungicidas útiles para controlar la roya asiática. En 2003 y 2004 en Sudáfrica y Sudamérica se mencionó que los triazoles (tebuconazol y tetraconazol), así como estrobilurinas, y mezcla de estrobilurinas azoxistrobina, pyraclostrobin, pyraclostrobin y boscalid, y trifloxistrobina con propiconazol son efectivos para el manejo de la roya (Miles *et al.*, 2003, 2004). En 2005, mediante ensayos en campo se determinó que los fungicidas: Folicur[®] (tebuconazol), Headline[®] (piraclostrobin), Titular de SBR[®] (piraclostrobin y tebuconazol), Laredo[®] (miclobutanil), y Stratego[®] (trifloxistrobina y propiconazol) eran aceptables para el control de roya asiática (Sconyers *et al.*, 2006). En Brasil, en áreas con alta severidad de la enfermedad se recomienda iniciar las

aplicaciones cuando el cultivo inicia la floración y, enseguida, dos aplicaciones posteriores con intervalos de 21 días (Balardín, 2004). En África se encontró que con tres aplicaciones se obtienen los mejores resultados (Levy, 2004). En Paraguay los mejores resultados se obtuvieron al utilizar estrobilurinas solas o en mezcla con triazoles (Terán-Vargas *et al.*, 2007). Lo más conveniente es la aplicación de la mezcla de un fungicida preventivo con un curativo (Terán-Vargas, 2010).

En México, Terán-Vargas *et al.*, (2010) evaluaron el efecto de Quilt (azoxystrobin + propiconazole) y reportaron que su aplicación protegió contra la roya asiática y propició una maduración retardada. Actualmente se sabe, que los fungicidas del grupo de los triazoles tienen cierta actividad sistémica y pueden eliminar al hongo una vez que infecta los tejidos de las plantas. El ingrediente activo de este grupo de fungicidas se mueve rápidamente a través de la hoja pero tiene una residualidad corta. El grupo de las estrobilurinas presentan cierta actividad sistémica, sin embargo no son absorbidos tan rápido como los triazoles y se mueven más lento. La función de este tipo de fungicidas es preventiva, por lo que una vez presente la enfermedad pueden ser usados en combinación con un triazol (Giesler y Weissling, 2005; Miles *et al.*, 2004). Un aspecto clave para el éxito de las aplicaciones de fungicidas es aplicar antes de la fase exponencial de la enfermedad. Por ese motivo suelen hacerse aplicaciones tempranas (Ploper y Devani, 2002).

2.7. Modelos de predicción utilizados para la roya asiática.

2.7.1. Movimiento de las esporas

El movimiento aéreo de las esporas de los hongos fitopatógenos es un proceso importante para la propagación de la enfermedad. Al respecto, existe poca información

acerca de los procesos que utilizan las esporas para viajar cientos de kilómetros e infectar a poblaciones distantes (Chamberlain, 1957). La comprensión de los procesos que influyen en el transporte de esporas a grandes distancias puede ayudar a los productores con las decisiones de manejo sobre el uso de fungicidas, saneamiento local y la cuarentena. Por ejemplo, la decisión de un productor de si se aplica o no un fungicida depende por lo general de la presencia o ausencia de estructuras infecciosas fúngicas. Si la estructura infecciosa del hongo debe recorrer una larga distancia para infectar a una población huésped, su presencia en la población receptora dependerá de los acontecimientos aerobiológicos que ocurran durante su transporte. El conocimiento sobre esto proporcionaría a los productores información valiosa para la toma de decisiones del manejo con fungicidas (Dufaul, 2008).

Las etapas de la dispersión de esporas para *P. pachyrhizi* se pueden especificar con más detalle como: 1) la producción de uredosporas en el hospedante, 2) escape de las uredosporas de la planta, 3) el transporte turbulento y la dilución de las uredosporas en las nubes a través de la atmósfera, 4) la supervivencia en el transporte, y 5) la deposición de las uredosporas en una población huésped. Las esporas son liberadas de la copa de una planta hospedera, transportándose en forma horizontal y luego depositadas en una población de plantas susceptibles. Durante el transporte, las esporas están expuestas a factores que pueden reducir su viabilidad antes de llegar al receptor. Las esporas se depositan por sedimentación/retención y/o lavado de la lluvia. La sedimentación/impactación es relativamente más importante cerca de la fuente y el lavado por lluvia es el proceso de deposición primaria a distancias más lejanas de la fuente. Las esporas que no llegan a una población huésped adecuada o no pueden

adherirse a un sustrato, ya no podrán volver a transportarse (figura 10) (Aylor, 1986; Gregory, 1973).

Las nubes potencialmente pueden transportar las esporas a largas distancias en la atmósfera, sobre todo en las tormentas, y las esporas pueden ser depositadas en las hojas de soya en otros estados (Bergstrom y McKellar, 2009).

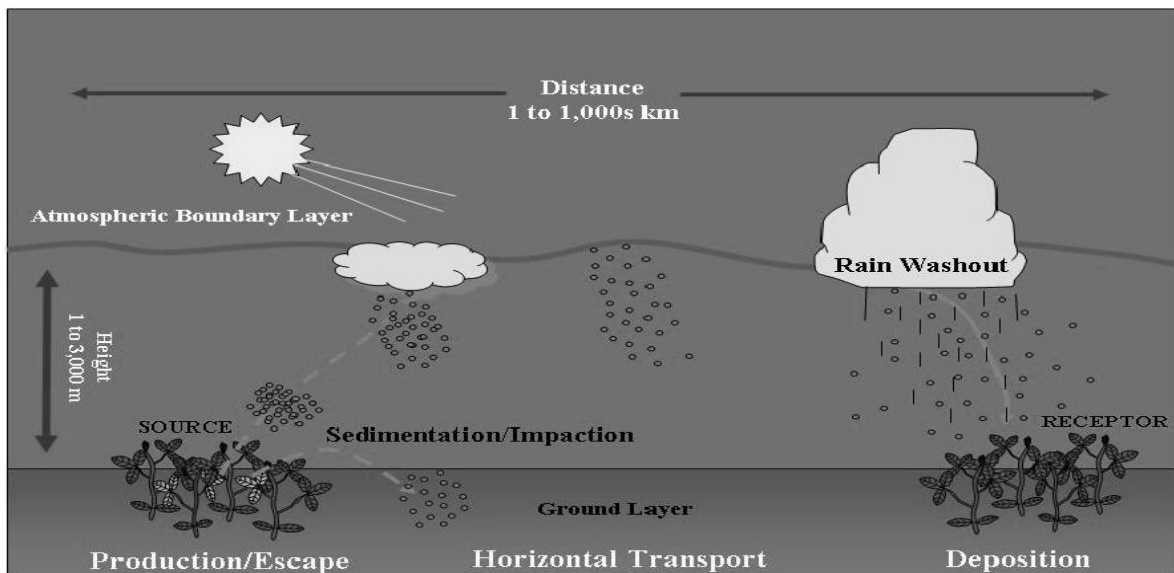


Figura 10. Diagrama conceptual de la dispersión de las uredosporas a través de la atmósfera del hospedero al receptor (Default, 2008).

2.7.2. Establecimiento de parcelas centinelas

Se sabe que bajo las condiciones adecuadas *P. pachyrhizi* podría propagarse rápidamente y causar graves pérdidas de rendimiento (Qualen y Yang, 2005).

Un sistema de alerta temprana basado en el uso de “parcelas centinela” sirve como un sistema de alerta para los productores de soya, ya que proporciona información real sobre lo que sucede en cada parcela. Las parcelas centinela se han utilizado en América del Sur para desarrollar una red de monitoreo para obtener datos de manera oportuna

(Wyse, 2005). A nivel nacional, el programa parcela centinela es un elemento para predecir con precisión el movimiento de las esporas y la enfermedad. Por ejemplo, en Alabama y Luisiana, USA se detectó la roya en parcelas centinelas de soya a principios de junio de 2009, tres semanas antes de la detección anual anterior en estos estados (Bergstrom y McKellar, 2009). Actualmente, en varios países se utilizan las parcelas centinelas (parcelas sembradas con el cultivo de soya) para monitorear a la roya asiática. Lo anterior, ha permitido detectar oportunamente y ha permitido ejercer acciones tendientes a proteger la producción de soya (Krupa *et al.*, 2006; USDA-APHIS, 2006). Por otro lado, con la implementación del sistema de parcelas centinelas se genera información en tiempo real de las zonas soyeras afectadas por *P. pachyrhizi* (USDA-APHIS, 2006). Además, con dicha información en conjunto con datos meteorológicos y epidemiológicos de la roya asiática se estiman patrones espaciales (distribución de uredosporas) de *P. pachyrhizi* en diferentes escalas (estado, país, continente) (X. Li *et al.*, 2010; Zhining *et al.*, 2009). Lo anterior se realiza con el propósito de minimizar la pérdida de rendimiento y el uso de fungicidas.

2.7.3. Modelos de predicción

Actualmente, los modelos atmosféricos describen el proceso que caracteriza el movimiento de la roya asiática en el aire, al mismo tiempo, predice la fuente de origen y el riesgo del establecimiento de *P. pachyrhizi* en las regiones donde se cultiva soya, entre otras leguminosas (Bonde *et al.*, 2008; Cardwell, 2006; Isard *et al.*, 2006). Los modelos atmosféricos que describen estos procesos se integran con modelos epidemiológicos que detallan la intensidad (incidencia y severidad) de la enfermedad

(Bonde *et al.*, 2008; Isard *et al.*, 2006). Por ejemplo, el modelo FLAIR estima la tasa diaria de infección aparente de roya asiática y la gravedad de la enfermedad simulada basada en la dinámica de poblaciones. El modelo FLAIR explica el 85% de variación de la severidad de la enfermedad. Al respecto, Kim *et al.* (2005) sugieren que un modelo puede ser desarrollado para determinar la tasa aparente de infección y un valor inicial de severidad de la enfermedad por anticipado usando datos pronosticados del tiempo, lo cual proporciona una predicción precisa de la severidad de la roya asiática antes del comienzo de la temporada. Por otra lado, Yang *et al.*, (1991) desarrollaron un modelo para predecir la severidad de la roya de la soja con datos obtenidos a partir de 73 experimentos de plantación de soja secuenciales en Taiwán. Sin embargo no tuvo éxito, ya que este modelo requiere información completa de la planta hospedante (Kim *et al.*, 2005).

Batchelor *et al.*, (1997) aplicaron redes neuronales para desarrollar un modelo de predicción de la severidad de la roya asiática. El modelo de red neuronal requiere grados-día para estimar el desarrollo de la soja y de *P. pachyrhizi* y determinar la fecha del primer día en que la enfermedad se observó. Este último requisito, dificulta la aplicación del modelo. Mientras que Van der Plank (1963) sugirió una ecuación de crecimiento logístico para predecir la gravedad de la enfermedad usando la tasa aparente de infección como un parámetro clave. Un modelo mecanicista es otro enfoque para simular la severidad de la enfermedad, describe la infección, la esporulación, la supervivencia de esporas, la inoculación e incubación en términos matemáticos. Sin embargo, se requiere una evaluación precisa y cuantitativa del desarrollo de la enfermedad; datos difíciles de obtener en condiciones de campo (Orlandini *et al.*, 2003).

Los modelos informáticos de simulación como el Sistema Integrado de Modelado Aerobiológico (IAMS) (Isard *et al.*, 2005b, 2007) y el Modelo de Predicción de Roya de la Universidad de St. Louis/Iowa State University (Pan *et al.*, 2006) pronostican exitosamente el riesgo de propagación de la roya asiática. El IAMS funciona utilizando los datos de la distribución de la roya en las parcelas centinelas, con lo anterior, el IAMS genera un gran número de mapas que son publicados diariamente en la página web ipmPIPE. Los mapas son utilizados por los patólogos extensionistas para construir comentarios sobre el riesgo de propagación de la roya (Isard y Russo, 2007). Con la ayuda del modelo mencionado anteriormente, se demostró que vientos asociados al Huracán Iván tuvieron el potencial de transportar las esporas de la roya asiática de Sudamérica al sureste de Estados Unidos (Isard *et al.*, 2005b, 2006, 2007).

Otro modelo generado actualmente es el CLIMEX. El modelo se ha utilizado para predecir el efecto del clima en la roya. Así como, para predecir la probabilidad de sobrevivencia de *P. pachyrhizi* en diferentes zonas geográficas o localidades. Para ello, en el modelo se incorporan parámetros como temperatura, humedad relativa y precipitación (Isard *et al.*, 2006; Pivona y Yang, 2004).

Por otro lado, también se ha generado un Sistema de Predicción Aerobiológico de la Roya de la Soya (SRAPS). Este modelo se basa en los siguientes principios de la vía atmosférica para especies invasoras aplicadas en soya: 1) producción de esporas, 2) liberación de esporas desde el dosel vegetal, 3) transporte turbulento y dilución en la atmósfera, 4) sobrevivencia de esporas en el aire, 5) deposición de esporas en soya cultivada y 6) colonización en soya cultivada (Isard *et al.*, 2005b). Con la aplicación de este modelo se ha simulado la deposición de esporas asociadas a ciclones y se ha determinado cómo se presenta la dispersión de la enfermedad a través de diferentes

regiones. Al igual que SRAPS, el HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory), generado por el Laboratorio de Recursos del Aire de NOAA (Isard *et al.*, 2005b) utiliza datos meteorológicos. El modelo HYSPLIT es un sistema complejo que ejecuta trayectorias de sectores de aire simples y simulaciones de depósito y dispersión complejas. Entre las últimas novedades en relación al modelo original se encuentran: algoritmos de advección, ecuaciones de dispersión y estabilidad actualizada, interfaz gráfico y módulo de transformaciones químicas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Primera etapa

En la primera etapa se determinó el efecto de la temperatura en el ciclo de desarrollo de la roya asiática de la soya.

3.2. Localización del experimento

El trabajo se estableció en el año 2011, en el área agrícola del Campo experimental Las Huastecas (CEHUAS), CIR noreste – INIFAP, ubicado en el km 55 de la carretera Tampico-Mante, municipio de Altamira, con las coordenadas: latitud 22° 34' Norte y longitud 98° 05' Oeste, y altitud de 60 msnm.

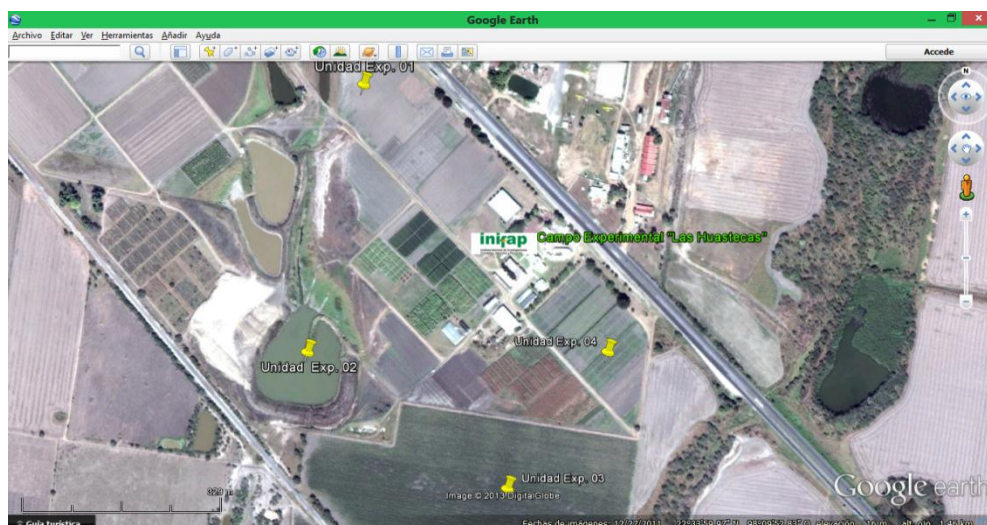


Figura 11. Localización de las parcelas experimentales para el desarrollo de la primera fase del experimento.

3.3. Descripción y diseño del experimento

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con 4 repeticiones. Cada unidad experimental consistió de 38.4 m² plantada con el genotipo de soya Huasteca 200. Así también, cada unidad experimental consistió de ocho surcos de 6 m de longitud, espaciados a 80 cm. La densidad de siembra fue de 18 semillas por metro lineal. Se utilizó como parcela útil los dos surcos centrales, de tal forma que cada unidad experimental tuviese un bordo suficientemente grande para reducir la interferencia entre parcelas.



Figura 12. Parcela experimental 38.4m² con el genotipo de soya H-200.

3.4. Manejo del cultivo

El manejo del cultivo en las parcelas experimentales fue igual al manejo regional realizado por los productores que consiste en la preparación del terreno, siembra, dos riegos de auxilio y una aplicación de insecticidas para el control del gusano terciopelo (*Anticarsia gemmatilis*). La siembra se realizó el 12 de junio de 2011. Posteriormente, a

los 36 días se aplicó una lámina de agua de 10 cm en la primera etapa fenológica de las plantas. El segundo riego de auxilio se hizo durante el periodo de floración, aplicando una lámina de riego de 6 cm. Este segundo riego se utilizó para suministrar la humedad necesaria para el llenado de grano, ya que en este periodo se requiere tener suficiente humedad para obtener rendimientos altos y semilla de buena calidad.



Figura 13. Primer riego de auxilio realizado al cultivo de soya variedad Huasteca 200.



Figura 14. Segundo riego de auxilio realizado al cultivo de soya variedad Huasteca 200.

Para el control del gusano terciopelo se realizó una aplicación de 1000 g de Malation 1000 CE[®] (Malatión) por hectárea. Lo anterior se aplicó el 3 de septiembre del 2011.



Figura 15. Aplicación del insecticida Malation para el control del gusano terciopelo

3.5. Variables evaluadas

3.5.1. Incidencia

Se estimó la proporción de hojas enfermas respecto al total de hojas presentes en cada una de las parcelas útiles. En cada evaluación se examinaron 20 folíolos al azar para cada tercio del dosel vegetal (tercio bajo, medio y superior) en los dos surcos centrales de cada parcela. Las evaluaciones se iniciaron en el estado fenológico V2, que correspondió aproximadamente a los 20 días después de la siembra, y se repitió en forma semanal para cada unidad experimental, realizándose un total de 16 evaluaciones a lo largo del ciclo primavera-verano 2011.

3.5.2. Severidad

Para esta variable se evaluó una planta completa por parcela útil tomada al azar dentro de los dos primeros metros lineales de los surcos centrales. Los síntomas de roya asiática observados con una lupa de 30X se cuantificaron con base a una escala diagramática propuesta por Godoy *et al.*, (2006) (figura 16). Esta escala fue aplicada a todos los folíolos presentes en las plantas al momento de la evaluación. Los valores de cada folíolo al nivel de cada nudo fueron promediados para obtener un indicador único de enfermedad a este nivel.

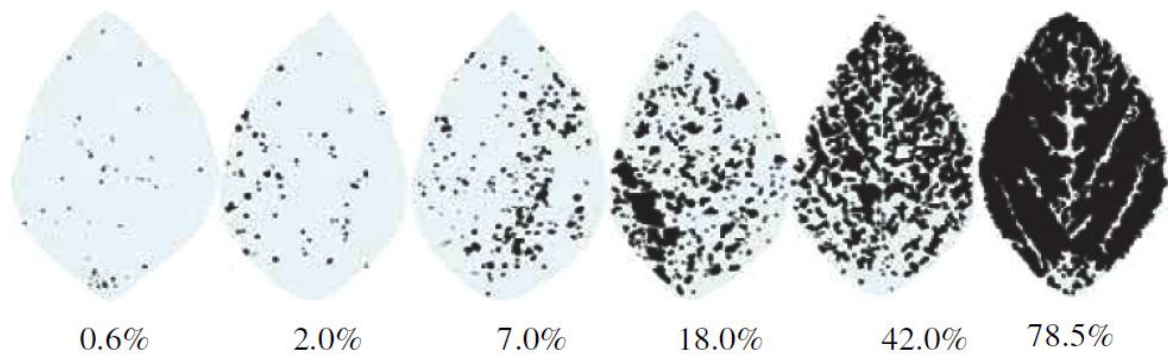


Figura 16. Escala diagramática de severidad de la roya asiática de la soja con el porcentaje que representa el área de contaminación de la enfermedad en la hoja.

Con los resultados obtenidos se calculó el área bajo la curva del progreso de la enfermedad. Este valor fue calculado con el modelo de integración de Campbell y Madden (1990), de acuerdo a la fórmula:

$$ABCPE = \sum_{i=1}^{n-1} [(x_i + x_{i+1})/2](t_{i+1} - t_i)$$

Donde, n es el número de evaluaciones, x es la proporción de la enfermedad y $(t_{i+1}-t_i)$ es el intervalo entre dos evaluaciones consecutivas.

3.5.3. Temperaturas mínimas y máximas.

El dato de temperaturas mínimas y máximas diarias fue registrado por la estación climatológica establecida en el INIFAP. Este dato fue registrado durante el ciclo de cultivo (agosto-diciembre) con una estación meteorológica automatizada (Davis instruments®) provista con una consola Weather Monitor II®. Las medidas fueron registradas diariamente a intervalos de 30 minutos durante la fase experimental.

3.5.4. Análisis estadístico

Los datos de incidencia y severidad fueron utilizados para calcular el área bajo la curva del progreso de la enfermedad. Este y el dato de temperaturas mínimas y máximas fueron sometidos a un análisis de correlación múltiple, a fin de determinar el efecto de la temperatura en el desarrollo epidemiológico de la roya asiática. Los análisis estadísticos fueron realizados en el programa estadístico SAS Ver. 9.2 (SAS Institute, 2003).

3.6. Segunda etapa

En esta etapa se Geo-referenció y determinó en las parcelas centinelas el patrón de infestación de la roya asiática de la soya.

3.6.1. Localización del experimento

El trabajo de investigación se desarrolló en la región productora de soya de San Luis Potosí y Tamaulipas. Donde se establecieron “Parcelas centinela” como unidades experimentales sembradas con el cultivo de soya en los años 2007, 2008, 2009, 2010 y 2011 (figura 17).

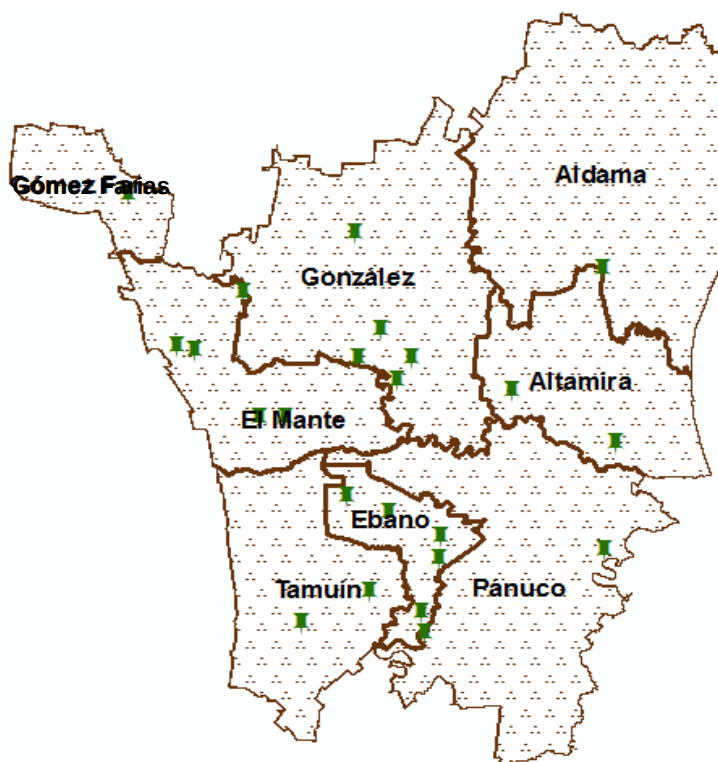


Figura 17. Distribución de las parcelas centinelas establecidas en los estados de Tamaulipas y San Luis Potosí.

3.5.2. Establecimiento de las parcelas centinelas

Para detectar la presencia de la roya asiática se establecieron “Parcelas centinela” de acuerdo a Balardí (2004), el cual consistió en delimitar con cinta amarilla 0.25 ha dentro de siembras comerciales. Enseguida, estas áreas fueron georeferenciadas con la ayuda de un GPS (cuadro 5). Las parcelas centinela fueron establecidas en plantaciones

comerciales de soya donde se reportó por primera vez la roya asiática, así como también, en áreas geográficas donde las condiciones climáticas y plantas hospedantes favorecen el establecimiento y desarrollo del patógeno. Las “Parcelas centinela” fueron sembradas, en los cuatro años de evaluación, entre 12 y 16 de junio con los cultivares Huasteca 200 y Huasteca 400 (figura 18).



Figura 18. Establecimiento de las parcelas centinelas.

Cuadro 5. Estados y parcelas comerciales en donde se establecieron las “Parcelas centinela” de interés en este estudio.

Estado	Municipio	Parcela centinela (ha)	Latitud	Longitud	Variedad	Etap
Tamaulipas	Gómez Farías	40	22.9844	-99.0931	H-400	R5
	González	6	22.6706	-98.5411	H-400	R6
		20	22.6092	-98.5939	H-200	R6
		30	22.7583	-98.845	H-400	R6
		21	22.6067	-98.475	H-400	R5
		22	22.5561	-98.5097	H-200	R5
		70	22.4797	-98.8161	H-200	R6
	Mante					

		43	22.6325	-98.9536	H-200	R6
		60	22.4794	-98.7592	H-200	R5
	Aldama	80	22.7953	-98.0497	H-200	R6
	Altamira	80	22.5283	-98.255	H-400	R6
		12	22.4069	-98.0314	H-200	R6
		35	22.6442	-98.9931	H-200	R6
San Luis Potosí	Ébano	20	22.1707	-98.4639	H-400	R5
		32	22.1701	-98.5048	H-200	R6
		8	22.1701	-98.5084	H-400	R6
		35	22.2181	-98.3599	H-400	R6
		15	22.1695	-98.4626	H-200	R5
		15	22.1882	-98.4548	H-400	R5
		12	22.1398	-98.5048	H-400	R6
		45	22.2612	-98.4876	H-200	R6
		8	22.1526	-98.4348	H-400	R5
		25	22.1287	-98.4613	H-200	R6
		15	22.1138	-98.5083	H-400	R4
		15	22.1695	-98.4626	H-200	R6
		10	22.3155	-98.5355	H-200	R7
		35	22.2181	-98.3599	H-400	R7
	Tamuín	10	22.1716	-98.5205	H-400	R4
		10	22.0705	-98.5566	H-200	R5
		26	22.1687	-98.6142	H-200	R6
		12	22.0278	-98.5895	H-200	R6
		5	22.0339	-98.5664	H-200	R6
		10	22.087	-98.5506	H-400	R6
		40	22.0595	-98.5415	H-400	R6
		30	22.1691	-98.5152	H-400	R6
		10	22.1628	-98.5306	H-400	R6
		10	22.0999	-98.6202	H-400	R4
		20	22.081	-98.5039	H-200	R6
		8	22.0627	-98.4999	H-200	R6
		20	22.134	-98.5551	H-400	R4
		20	22.1182	-98.567	H-400	R5
		25	21.9017	-98.6813	H-200	R6
		30	22.0565	-98.5037	H-400	R6

H-400= Huasteca 400; R4= Vainas de 2 cm; R5= Llenado de vainas, el grano es similar al tamaño de una lenteja; R6= El grano es similar al tamaño de un chícharo.

3.6.2. Manejo del cultivo

El manejo del cultivo consistió en la preparación del terreno, siembra, tres riegos de auxilio y dos aplicaciones de insecticidas para el control del gusano terciopelo (*Anticarsia gemmatilis*). La siembra se realizó en surcos de 76 a 80 cm de separación con una densidad de 15 a 19 plantas por metro lineal. Posteriormente, a los 16 y 36 días se aplicó una lámina de agua de 10 cm. Enseguida, un tercer riego de auxilio durante el periodo de floración aplicando una lámina de riego de 6 cm. Para el control del gusano terciopelo se aplicó 1000 g ha⁻¹ de Malatión (Malatión 1000 CE[®]) y/o 200 g ha⁻¹ de Cipermetrina (Cipermetrina[®], concentrado emulsionable). Las aplicaciones de los productos se realizaron entre 3 y 25 de septiembre.

3.6.3. Variables a evaluar

3.6.3.1. Incidencia

Las evaluaciones se iniciaron en el estado fenológico V2, que correspondió aproximadamente a los 20 días después de la siembra, y se repitió en forma semanal en cada “Parcela centinela”, realizándose un total de 16 evaluaciones a lo largo del ciclo del cultivo. El muestreo utilizado fue cinco de oros, el cual consistió en muestrear los cuatro puntos cardinales y el centro de la “Parcela centinela”. En cada punto se revisó el tercio bajo, medio y superior de diez plantas seleccionadas al azar. En estas plantas se estimó la incidencia, que consiste en la proporción de hojas enfermas respecto al total de hojas presentes en cada una de las plantas revisadas.

3.6.3.2. Severidad

La severidad de la enfermedad (porcentaje promedio de la superficie foliar dañada) se determinó con la escala diagramática de Godoy *et al.* (2006) (figura 16). Para ello, se consideró una muestra de 20 foliolos recolectados del tercio bajo, medio y superior de 50 plantas seleccionadas al azar por “Parcela centinela”.

3.6.4. Análisis estadístico

Los datos de incidencia y severidad, antes de ser analizados con el método geoestadístico, se ajustaron a un modelo epidemiológico Logístico por medio del programa SAS versión 9.1. El resultado obtenido más las coordenadas de las parcelas centinela fueron sometidos a un análisis epidemiológico de dispersión mediante el modelo de inversa ponderada usando ArcGis versión 9.3 (ESRI, Redlands, CA), a fin de Geo-referenciar y determinar la infestación de la roya asiática de la soya en Tamaulipas y San Luis Potosí.

3.6.5. Modelo predictivo de roya asiática

El programa de análisis Geoestadístico del Sistema de Información Geográfica ArcGIS versión 9.3 genera un mapa con la interpolación de la media ponderada por el inverso de la distancia. Para ello, primero se ingresaron las coordenadas de las parcelas centinela en el programa. Enseguida, se integró el dato de incidencia y severidad de cada parcela centinela al programa ArcGis. Finalmente, se usó el método de interpolación espacial con el modelo de inversa ponderada que están como herramienta en el ArcGis para generar mapa tipo raster, o sea un área discretizada en celdas donde cada una de ellas

tiene un valor numérico referido al parámetro interpolado, en este caso, la incidencia y severidad de la roya asiática de la soya.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Incidencia, severidad y temperatura

El progreso epidemiológico de la roya asiática siguió un patrón exponencial. La enfermedad en el cultivar huasteca 200, se presentó en el tercio bajo del dosel. Donde a los 57 días después de la siembra la incidencia y severidad de la enfermedad se incrementó. Estos datos fueron sometidos a un análisis estadístico, los cuales indicaron que con una confiabilidad del 95% se obtuvo una correlación positiva (Coeficiente de correlación = 0.85, p-value = 0.01) entre la temperatura, incidencia y severidad. Es decir, las temperaturas de 13 a 26°C favorecen el progreso de la enfermedad en condiciones de campo. Mientras que las temperaturas de <13°C y >26°C afectan el desarrollo de *P. pachyrhizi* (Coeficiente de correlación = -0.68, p-value = 0.001) (figura 19).

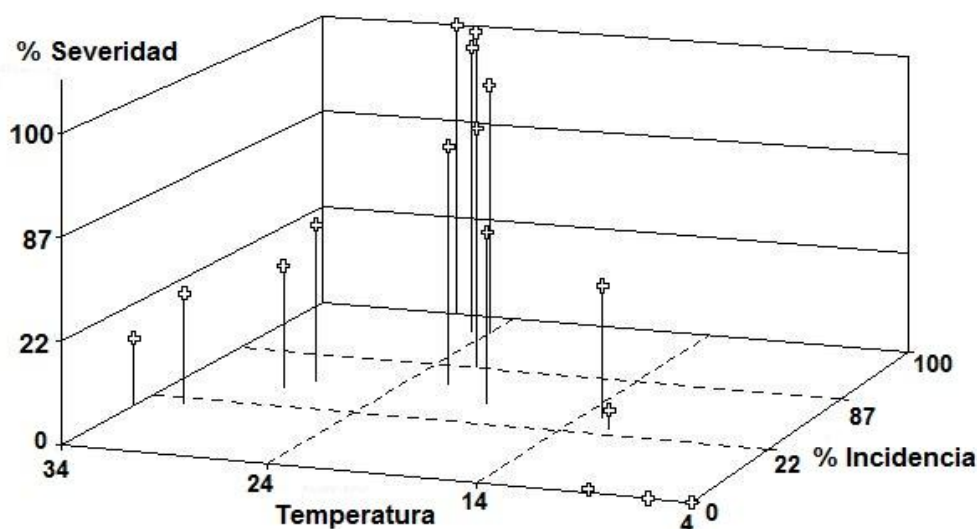


Figura 19. Efecto de la temperatura en el desarrollo de *P. pachyrhizi*.

4.2. Análisis geo-estadísticos

Mientras que los análisis geo-estadísticos indican que los mayores porcentajes de incidencia y severidad se ubican en Gonzáles, Gómez Farías y el Mante. De la misma manera, muestran un patrón de auto-correlación espacial discernible, es decir, tales municipios podrían ser fuentes de inóculo del patógeno (figura 20).

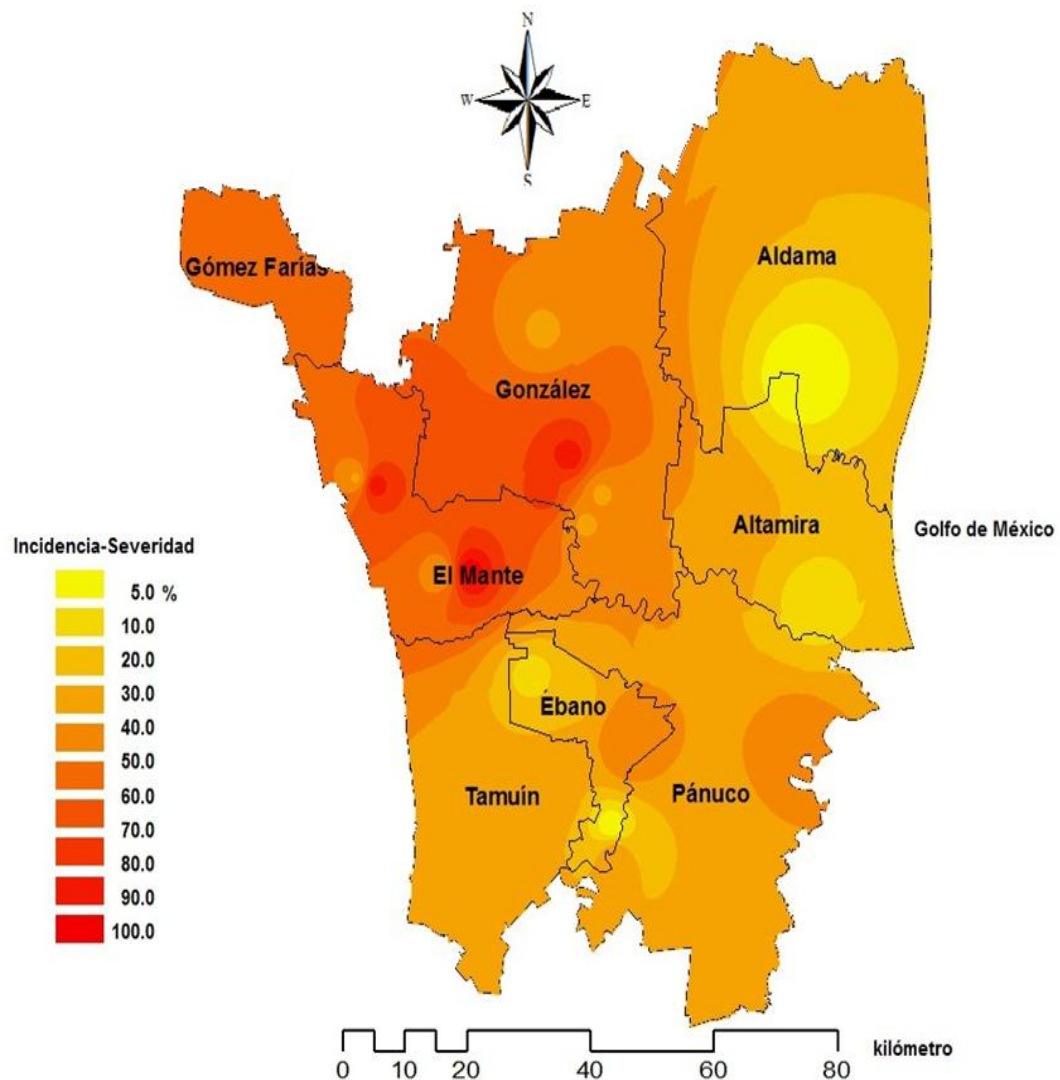


Figura 20. Patrón de infestación de *P. pachyrhizi* en los estados de Tamaulipas y San Luis Potosí

Diversos estudios realizados (Pivona y Yang, 2006; Tan, 1994; Bonde *et al.*, 2007) en condiciones de laboratorio muestran que temperaturas de <9 °C y >28 °C no favorecen la germinación de uredosporas. Por el contrario, con temperaturas entre 12 a 21 °C se ha observado mayor porcentaje de germinación (Melching y Bromfield, 1975). El efecto de la temperatura en el desarrollo de la roya asiática se ha observado en varios países como Taiwan, Zimbabwe, Hawaii y Brasil (APHIS, 2002; Carcamo y J. Aguilar, 2006). Las temperaturas reportadas en estos países que afectan el proceso de germinación, crecimiento del tubo germinativo e inicio de la infección de la roya asiática de la soya son similares a las observadas en el presente trabajo. Por otro lado, estudios histopatológicos desarrollados en cámaras bioclimáticas e invernaderos por (McLean, 1979 y McLean y Byth, 1981) muestran que un mínimo de 6 horas de humedad y 24 °C son suficientes para iniciar la infección. Mientras que otros autores encontraron que el inicio, incremento y fin de la infección ocurre entre 18 °C a 26.5 °C (Pérez, *et al.*, 2010). Así mismo, temperaturas <15 °C y >28 °C reduce el número de lesiones y hace más lento el desarrollo de *P. pachyrhizi* (Hartman *et al.*, 2004). Resultados mencionados anteriormente fueron similares a los obtenidos en el presente trabajo, donde el porcentaje menor de incidencia y severidad fue observado cuando se presentaron temperaturas por debajo de los 12 °C y mayores a los 26 °C.

Por otro lado, se sabe que el riesgo epidemiológico de *P. pachyrhizi* está en función de las condiciones ambientales del área geográfica, al patrón de dispersión y al porcentaje de severidad del patógeno (APHIS, 2002; Ploper y Devini, 2002; Terán *et al.*, 2007). En México *P. pachyrhizi* se presentó a finales del 2005, confirmada en el 2006 (Carcamo y Aguilar, 2006). Posteriormente, en Veracruz (municipio de Papantla) y Campeche

(Terán *et al.*, 2007; Yañez *et al.*, 2009). Para el 9 de abril de 2010, se reportó en el municipio el Mante, Tamaulipas en etapa de desarrollo R1 del cultivo de la soya. La epifitía de *P. pachyrhizi* reportada concuerdan con el patrón de infestación obtenido en el presente trabajo de investigación. Lo anterior, resalta la importancia de implementar las parcelas centinelas en el monitoreo de la roya asiática del cultivo de soya en Tamaulipas y San Luis Potosí

.

5. CONCLUSIÓN

El estado de Tamaulipas cuenta con una serie de regiones geográficas, hospederos y temperaturas que favorecen el desarrollo de *P. pachyrhizi*, por lo que los resultados de la presente investigación son de utilidad para monitorear la enfermedad con base en una escala regional de condiciones climáticas. A fin de desarrollar una estrategia que sea de utilidad para predecir la presencia de la enfermedad oportunamente. Por otro lado, *P. pachyrhizi* se encuentra establecida en los estados de San Luis Potosí y Tamaulipas; en este último estado el patrón de infestación se presenta en mayor porcentaje en Gonzáles, Gómez Farías y el Mante. Datos recolectados en estas zonas geográficas, podrían ser de utilidad para el estudio a futuro del patrón de dispersión de las uredosporas de plantas infestadas a cultivos sanos establecidos fuera del estado de Tamaulipas, así mismo, en el desarrollo de estrategias para un mejor manejo del cultivo de la soya.

6. LITERATURA CONSULTADA

- Andrade, P. J. M. E Andrade, D. F. A. (2002). Ferrugem asiática: uma ameaça à sojicultura brasileira. Editorial Embrapa. Brasil. (Circular técnica, 11). 11 pp.
- Animal and Plant Health Inspection Service APHIS. 2002. NPGA Data: Phakopsora pachyrhizi australasian Soybean Rust. 1-14 p. Available in: www.aphis.usda.gov (09/12/2002).
- ASERCA. Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria. 2010 disponible en <http://www.aserca.gob.mx>
- Aylor, D. E. 1986. A framework for examining inter-regional aerial transport of fungal spores. *Ag. and For. Meteorol.* 38:263-288.
- Balardín, R. 2004. Manejo de la roya de la soja. Experiencias en Brasil (III). *In: Principales conclusiones del Panamerican Soybean Rust Workshop*. Ploper, L.D. (ed.). Publicación especial No. 24, Tucumán, Argentina, abril, 2004. Estación Experimental Agroindustrial “Obispo Colombres”. 24p.
- Batchelor, W. D., Yang, X. B., and Tschanz, A. T. 1997. Development of a neural network for soybean rust epidemics. *Trans. ASAE* 40:247-252.
- Bergstrom, G.C. and McKellar, M.E. 2009. What’s Cropping Up? A Newsletter for New York field Crops & Solis. *Disease Management* Vol.9 No.3, May-June, 2009. P1-3

- Bernd, R. B., Bean, G. A., Conway, W. S., and Moline, H. E. 1987. Influence of temperature and relative humidity on germinability of *Mucor piriformis* spores. *J. Phytopathol.* 118:3-8.
- Bonde, M. R., Nester, S. E., Berner, D. K., Frederick, R. D., Moore, W. F., and Little, S. 2008. Comparative susceptibilities of legume species to infection by *Phakopsora pachyrhizi*. *Plant Dis.* 92:30-36.
- Bonde, M. R., Nester, S. E., Austin, C. N., Stone, C. L., Frederick, R. D., Hartman, G. L., and Miles, M. R. 2006. Evaluation of virulence of *Phakopsora pachyrhizi* and *P. meibomia* isolates. *Plant Dis.* 90:708-716.
- Bonde, M. R., Melching, J. S., and Bromfield, K. R. 1976. Histology of the susceptible pathogen relationship between *Glycine max* and *Phakopsora pachyrhizi*, the cause of soybean rust. *Phytopathology* 66:1290-1294.
- Bromfield, K. R. 1984. Soybean Rust. Monogr. No. 11. American Phytopathological Society, St. Paul, MN.
- Bromfield, K. R., Melching, J. S., and Kingsolver, C. H. 1980. Virulence and Aggressiveness of *Phakopsora pachyrhizi* Isolates Causing Soybean Rust. *Phytopathology* 70:17-21.
- Bromfield, K. R. and Hartwig, E. E. 1980. Resistance to soybean rust and mode of inheritance. *Crop Sci.* 20:254-255.
- Calvo, É. S., de Souza Kiihl, R. A., García, A., Harada, A., and Hiromoto, D. M. 2008. Two major recessive soybean genes conferring soybean rust resistance. *Crop Sci.* 48:1350-1354.
- Cárcamo Rodríguez, A., Aguilar Ríos, J., and Hernández, J. R. 2006. First report of Asian soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* from Mexico. *Plant Dis.* 90:1260.
- Cardwell, K. F. 2006. Current policy perspectives from CSREES and APHIS. 2nd National SBR Symposium, American Phytopathological Society.

<http://www.plantmanagementnetwork.org/infocenter/topic/soybeanrust/2006/presentations/Cardwell.pdf>.

- Carmona, M. A., and Gally, M. E. 2005. Asian soybean rust: incidence, severity, and morphological characterization of *Phakopsora pachyrhizi* (Uredinia and telia) in Argentina. *Plant Dis.* 89:109.
- Chamberlain, A. C. 1967. Deposition of particles to natural surfaces. *Airborne Microbes. Symposium of the Society for General Microbiology.* P.H. Gregory and Monteith, J.L., Editors. Cambridge University Press: Cambridge. p. 138-164.
- Coker, C., Hurst, K., Kiskpatrick, T., Rupe, J., Tingle, C., Trent, M. ----- . Asian Soybean Rust. University of Arkansas Division of Agriculture. FSA 7531- pd-4-05N.
- Del Ponte, E. M., and Esker, P. D. 2008. Meteorological factors and Asian soybean rust epidemics: a systems approach and implications for risk assessment. *Scientia Agrícola* 65:88-97.
- 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.
- Dorrance, A. E., Draper, M. A., and Hershman, D. E. eds. 2008. Using foliar fungicides to manage soybean rust. Land-Grand Universities Cooperation NCERA-208 and OMAF, Bulletin SR-2008.
- Dufault, S. Nicholas, 2008. The deposition of *Phakopsora pachyrhizi* urediniodpores on soybean. The Pennsylvania State University UMI, Pro Quest LLC p 1-2.
- FAO. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2011. Available at: <http://www.faostat.fao.org>
- Fehr, W. R., Caviness, C. E., Burmod D. T., and Pennington, J. S. 1971. Stage of development descriptions for soybeans, *glycine max* (L.) Merrill. *Crop Sci.* 11:929-931.

- FINAGRO, 2010. El cultivo de la soya. Historia e importancia. Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario, Bogotá, Colombia.
- Fujiwara, Y., Yamaoka, Y., Kakishima, M., and Katsuya, K. 1998. Identification of pathogenic races of *Phakopsora pachyrhizi* on soybean and kudzu. Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 64:363 (Abstr. in Japanese, translated for me by Junichi Khashiwagi, ICRISAT, India).
- García, A., Calvo, É. S., de Souza Kiihl, R. A., Harada, A., Hiromoto, D. M., and Vieira, L. G. E. 2008. Molecular mapping of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) resistance genes: Discovery of a novel locus and alleles. Theor. Appl. Genet. 117:545-553.
- Giesler, J.L. and T.J. Weissling, 2005. Fungicides to manage soybean rust: What are the differences? NebGuide. University of Nebraska.
- Goellner, K., Loehrer, M., Langenbach, C., Conrath, U., Koch, E., Schaffreth, U. 2010. *Phakopsora pachyrhizi*, the causal agent of Asian soybean rust. Molecular Plant Pathology 11:169-177.
- Gregory, P. H. 1973. Microbiology of the Atmosphere, ed. N. Polunin. Leonard Hill Books. Aylesbury. 377.
- Hartman, G. L., Miles, M. R., and Frederick, R. D. 2005. Breeding for resistance to soybean rust. Plant Dis. 89:664-666.
- Hartman, G. L., Miles, M. R., and Frederick, R. D. 2004. Epidemiology and spread of soybean rust. American Seed Trade Association Conference Proceedings.
- Hartman, G. L.; Sinclair, J. B. y Rupe, J. C. 1999. Compendium of Soybean Diseases. 4. Ed. St. Editorial American Phytopathological Society-APS. United States of America. 100 pp.
- Hartman, G. L. 1995. Highligts of soybean rust research at the Asian vegetable Research and Development Center. In: Proceedings of the Soybean Rust Workshop, Sinclair, J. B. and Hartman, G. L. (Eds.). Urbana IL. College of Agricultural,

consumer and Environmental Sciences National Soybean Research Laboratory. pp 19-28.

Hartman, G. L., Saadaoui, E. M., and Tschanz, A. T. 1992. Annotated Bibliography of Soybean Rust (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow). Taipei: Asian Vegetable Research and Development Center.

Hartwig, E. E. 1986. Identification of a fourth major gene conferring resistance to soybean rust. *Crop Sci.* 26:1135-1136.

Hartwig, E. E. and Bromfield, K. R. 1983. Relationships among three genes conferring specific resistance to rust in soybeans. *Crop Sci.* 23:237-239.

Hernández, J.R. 2004. Systematic, botany & mycology laboratory, ARS, USDA. Invasive fungi. Asian soybean rust. Disponible en: <http://nt.arsgrin.gov/taxadescriptions/factsheets/index.cfm?thisapp=Phakopsorapachyrhizi>. (Consultada: 3 de abril de 2007).

Hershman, D., Dorrance, A., and Draper, M. 2011. Soybean Facts Scouting for Soybean Rust. Soybean Management and Research Technology (SMaRT). June 2011.

Isard, S. A., Barnes, C. W., Hambleton, S., Ariatti, A., Russo, J. M., Tenuta, A., Gay, D. A., and Szabo, L. J. 2011. Predicting soybean rust incursions into the North American continental interior using crop monitoring, spore trapping, and aerobiological modeling. *Plant Dis.* 95:1346-1357.

Isard, S. A., and Russo, J. M. 2007. Sentinel plots in the United States: Modeling the seasonal spread of SBR in North America. Pages 39-40 in: Using Foliar Fungicides to Manage SBR. A. E. Dorrance, M. A. Draper, and D. E. Hershman, Eds. The Ohio State University, Columbus.

Isard, S. A., Russo, J. M., and Ariatti, A. 2007. Aerial transport of SBR spores into the Ohio River Valley during September 2006. *Aerobiologia* 23:271-282.

- Isard, S. A., Dufault, N. S., Miles, M. R., Hartman, G. L., Russo, J. M., De Wolf, E. D., and Morel, W. 2006. The effect of solar irradiance on the mortality of *Phakopsora pachyrhizi* urediniospores. *Plant Dis.* 90:941-945.
- Isard, S. A., Gage, S. H., Comtois, P., and Russo, J. M. 2005. Principles of the atmospheric pathway for invasive species applied to soybean rust. *Bio-Science* 55:851-861.,
- Isard, S. A., Gage, S. H., Comtois, P., and Russo, J. M. 2005b. Principles of aerobiology applied to SBR as an invasive species. *BioScience* 55:851-862.
- Isard S. A., M.R. Miles, J.M. Russo, and G.L. Hartman. 2004. Aerial dispersal of soybean rust spores: an aerobiological model to forecast the spread of *Phakopsora pachyrhizi* at global, continental, and regional scales. Proposal 2003-05200 funded by the USDACSREES Competitive Programs in Plant Biosecurity.
- Ivancovich, A. 2005. Soybean rust in Argentina. *Plant Dis.* 89:667-668.
- Jarvie A. J. 2009. A review of soybean rust from a South African perspective. *South African Journal of Science* 105, March/April 2009. Pp. 103-108.
- Kawuki, R. S., Adipala, E., and Tukamuhawa, P. 2003. Yield loss associated with soya bean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Syd.) in Uganda. *J. Phytopathol.* 151:7-12.
- Keogh, R. C. 1978. Studies on the survival, distribution, and host-parasite relationships of *Phakopsora pachyrhizi*, Syd. Ph.D. Thesis, University of Sydney, Sydney, Australia. 227 pp.
- Kim, K. S., Wang, T. C., and Yang, X. B. 2005. Simulation of apparent infection rate to predict severity of soybean rust using a fuzzy logic system. *Phytopathology* 95:1122-1131.
- Koch, E. and Hoppe, H.H. (1987) Effect of light on uredospore germination and germ tube growth of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Syd). *J. Phytopathol. Phytopathol. Z.* 119, 64–74.

- Koch, E., Ebrahimnesbat, F. and Hoppe, H.H. (1983) Light and electronmicroscopic studies on the development of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Syd) in susceptible soybean leaves. *Phytopathol. Z.* 106, 302–320.
- Koch, E., Ebrahim-Nesbat, F., and Hoppe, H. H. 1983b. Structural studies on the development of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in susceptible soybean leaves. *Soybean Rust Newsl.* 6:4-7.
- Kochman, J. K. 1979. The effect of temperature on development of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*). *Aust. J. Agric. Res.* 30:273-277.
- Kurle, J.E., Malvick, D., Krupa, S., Floyd, C. 2007. Soybean Rust: Its history, biology, epidemiology and importance to crop production. Department of Plant Pathology University of Minnesota.
- Krupa, S., Bowersox, V., Claybrooke, R., Barnes, C. W., Szabo, L., Harlin, K., and Kurle, J. 2006. Introduction of Asian soybean rust urediniospores into the midwestern United States—a case study. *Plant Dis.* (90), pp.1254-1259.
- Loehrer Marco and Schaffrath Ulrich (2011). Asian Soybean Rust – Meet a Prominent Challenge in Soybean Cultivation, Soybean - Biochemistry, Chemistry and Physiology, Prof. Tzi-Bun Ng (Ed.), ISBN: 978-953-307-219-7, InTech, Available from:<http://www.intechopen.com/books/soybean-biochemistry-chemistry-andphysiology/asian-soybean-rust-meet-a-prominent-challenge-in-soybean-cultivation>
- Levy, C. 2003. A field evaluation of eight fungicides in the control of soybean rust in Zimbabwe during 2002-03. Commercial Oilseeds Producer Association, Harare, Zimbabwe.
- Levy C. 2004. Manejo de la roya de la soja: Experiencias en África. En: Principales conclusiones del Panamerican Soybean Rust Workshop. Estación Experimental Agroindustrial “Obispo Colombes”. Publicación especial No. 24, Tucumán Argentina.

- Levy, C. 2005. Epidemiology and chemical control of soybean rust in Southern Africa. *Plant Dis.* 89:669-674.
- McLean, R. J. 1979. Histological studies of resistance to soybean rust, *Phakopsora pachyrhizi* Syd. *Aust. J. Agric. Res.* 30:77-84.
- McLean, R. and Byth, D. E. 1980. Inheritance of resistance to rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in soybean. *Australian J. of Ag. Res.* 30:77-84.
- Maldonado, M.N. 1994. Huasteca 100 y Huasteca 200 Nuevas variedades de soya para el sur de Tamaulipas. Folleto técnico Núm. 9. Campo Experimental Sur de Tamaulipas, CIRNE-INIFAP. 21p.
- Maldonado, M.N. y G. Ascencio L. 2005a. Huasteca 400 Nueva variedad de soya para el sur de Tamaulipas. Folleto técnico Núm. 18. Campo Experimental Sur de Tamaulipas, CIRNE-INIFAP. 18p.
- Maldonado, M.N. y G. Ascencio L. 2005b. Huasteca 300 Nueva variedad de soya para el sur de Tamaulipas. Folleto técnico Núm. 19. Campo Experimental Sur de Tamaulipas, CIRNE-INIFAP. 18p.
- Maphosa, M., Talwana, H., Gibson, P., Tukamuhabwa, P. 2012. Combining ability for resistance to soybean rust in F₂ and F₃ soybean populations. *Field Crops Research* 130(2012) 1-7.
- Margosian, M. L., Garrett, K. A., Hutchinson, J. M. S., and With, K. A. 2009. Connectivity of the American agricultural landscape: Assessing the national risk of crop pest and disease spread. *BioScience* 59:141-151.
- Marchetti, M. A., Melching, J. S., and Bromfield, K. R. 1976. The effects of temperature and dew period on germination and infection by uredospores of *Phakopsora pachyrhizi*. *Phytopathology* 66:461-463.
- Melching, J. S., Dowler, W. M., Koogler, D. L., and Royer, M. H. 1989. Effects of duration, frequency, and temperature of leaf wetness periods on soybean rust. *Plant Dis.* 73:117-112

- Miles, M. R., Bonde, M. R., Nester, S. E., Berner, D. K., Frederick, R. D., and Hartman, G. L. 2011. Characterizing resistance to *Phakopsora pachyrhizi* in soybean. Plant Dis. 95:577-581.
- Miles, M. R., Morel, W., Ray, J. D., Smith, J. R., Frederick, R. D., and Hartman, G. L. 2008. Adult plant evaluation of soybean accessions for resistance to *Phakopsora pachyrhizi* in the field and greenhouse in Paraguay. Plant Dis. 92:96-105.
- Miles, M. R.; Levy, C.; Morel, W.; Mueller, T.; Steinlage, T.; van Rij, N.; Frederick, R. D. & Hartman, G. L. 2007. International fungicide efficacy trials for the management of soybean rust. Plant Disease, Vol.91, No.11 (November, 2007), 1450-1458 0191-2917
- Miles, M. R., Frederick, R. D., and Hartman, G. L. 2006. Evaluation of soybean germplasm for resistance to *Phakopsora pachyrhizi*. Published Online at Plant Health Progress. doi: 10.1094/PHP-2006-0104-01-RS.
- Miles, M. R., Levy, C., Hartman, G. L. 2004. Summary of The USDA Fungicide Efficacy Trials To Control Soybean Rust In Zimbabwe 2003-2004. Integrated Pest Management Reviews. Available: <http://www.ipmcenters.org/NewsAlerts/soybeanrust/>.
- Miles, M. R., Morel, W., Steinlage, T., and Hartman, G. L. 2004b. Summary of the USDA fungicide efficacy trials to control soybean rust in Paraguay 2003-2004. p. 1 -11.
- Miles, M. R., G. L. Hartman, and R. D. Frederick. 2003. Epidemiology and spread of soybean rust. In Proceedings of the Thirty-third Soybean Seed Research Conference 2003: American Seed Trade Association Pub. No.33.
- Miles, M. R., Morel, W., and Hartman, G. 2003. Summary of the USDA fungicide efficacy trials to control soybean rust in Paraguay 2002-2003. p. 1 - 8.

- Miller, P., McMullen, C., Marshall, D., Kephart K.D., Warman, G., Cassel, K.L. 2005. Asian Soybean Rust. South Dakota State University College of Agriculture & Biological sciences Brookings South Dakota 57007 p. 1-8.
- Mueller, D., Robertson, A., Sisson A., and Tylka G. 2010. Soybean Diseases. Iowa State University Field Guide. November 2010 Pp. 1-36.
- Mueller D., Robertson A., and Tylka G. 2008. Soybean Rust and Common Soybean Leaf Diseases Iowa State University, University Extensión.
- Narváez, D. -----. Soybean Rust. Life Cycle, Spore Germination and Survival. NFREC-IFAS- University of Florida.
- NAPPO. Organización Norteamericana de protección a las plantas. 2006. Detección de la roya asiática de la soya (*Phakopsora pachyrhizi*), en los estados de Tamaulipas y San Luis Potosí México. Disponible en: http://www.aphis.usda.gov/plant_health/plant_pest_info/soybean:rust/downloads/UreMelPp502.pdf.
- NAPPO. North American Plant Protection Organization. Disponible en http://www.napppo.org/menu_s.shtml.
- Neuman, R. 2004. Fabaceas nativas y adventicias de Argentina Posibles hospedantes de roya asiática (*Phakopsora pachyrhizi*). INTA PARANA. www.inta.gob.ar/PARANA/info/documentos/producción-vegetal/soja/roya/articulos.htm.
- Orlandini, S., Dalla Marta, A., D'Angelo, I., and Genesio, R. 2003. Application of fuzzy logic for the simulation of *Plasmopara viticola* using agrometeorological variables. OEPP/EPPO Bull. 33:415-420.
- Paul, C., and Hartman, G.L. 2009. Sources of soybean rust resistance challenged with single spored isolates of *Phakopsora pachyrhizi* collected from the USA. Crop Sci. 49:1781-1785.

- Pan, Z., Yang, X. B., Pivonia, S., Xue, L., Pasken, R., and Roads, J. 2006. Long-term prediction of SBR entry into the continental United States. *Plant Dis.* 90:840-846.
- Patil, P. V. and Anahosur, K. H. 1998. Control of soybean rust by fungicides. *Indian Phytopath.* 51:265-268.
- Pham, T.A., Hill, C.B., Miles, M.R., Nguyen, B.T., Vu, T.T., Vuong, T.D. 2010. Evaluation of soybean for resistance to soybean rust in Vietnam. Published by Elsevier B.V. *Field Crops Research* 117(2010)131-138.
- Pham, T. A., Miles, M. R., Frederick, R. D., Hill, C. B., and Hartman, G. L. 2009. Differential responses of resistant soybean entries to isolates of *Phakopsora pachyrhizi*. *Plant Dis.* 93:224-228.
- Pérez-Vivente L., E. Martínez-de la Parte, M. Pérez Miranda, E.L. Martín-Triana, O. Borrás-Hidalgo and I. Hernández-Estévez. 2010. First report of Asian rust of soybean caused by *Phakopsora pachyrhizi* in Cuba. *New Disease Reports* (20), (2010), pp.32.
- Pérez, H.O. 2007. Alternative hosts of *Phakopsora pachyrhizi* in the Americas: an analysis of their role in the epidemiology of Asian soybean rust in the continental U.S. Thesis Master of Science, Iowa State University, Ames, Iowa. Pág. 1-102.
- Pivonia, S., and Yang, X. B. 2006. Relating epidemic progress from a general disease model to seasonal appearance time of rusts in the United States: Implications for soybean rust. *Phytopathology* 96:400-407.
- Pivona, S., and Yang, X. B. 2004. Assessment of the potencial year-round establishment of soybean rust throughout the word. *Plant Dis.* 88:523-529
- Ploper, D.L. 2004. La roya de la soja. *In: Principales conclusiones del Panamerican Soybean Rust Workshop.* Ploper, L.D. (ed.) Publicación especial No. 24, Tucumán, Argentina, abril 2004. Estación Experimental Agroindustrial “Obispo Colombres”. 24p.

- Ploper, D.L. y Devani M.R. 2002. La roya de la soja: Principales aspectos de la enfermedad y consideraciones sobre su manejo. Publicado en: Soja en Siembra Directa- Octubre 2002. AAPRESID. Pág. 51-55.
- Qualen, R.V. and Yang. X.B. 2005. Asian Soybean Rust Sentinel Plots. Iowa State University, Northern Research and Demonstration Farm.
- Ratnaparkhe, M. B., Singh, R. J., and Doyle, J. J., Kole, C. 2011. (ed.), Wild Crop relatives: Genomic and breeding resources, in C. Kole, editor. Springer Berlin Heidelberg, p 83-116.
- Rodríguez, A.C., Ríos, J.A., Hernández, J. 2006. First report of Asian Soybean Rust caused by *Phakopsora pachyrhizi*, from Mexico. Plant Disease. 90:1260.
- SAGARPA, 2010. Reporte Epidemiológico Roya Asiática. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria SINAVEF. San Luis Potosí, Abril 2010. No. 001. Pp 1-7.
- SAS Institute. 2003. SAS Companion for Microsoft Windows releases 6.12. SAS Institute, Cary, NC.
- Sathe, A. V. 1972. Identity and nomenclature of soybean rust from India. Curr. Sci. 41:264-265.
- Sato, T., and Sato, S. 1982. Infective ability of soybean rust to several leguminous plants. Soybean Rust Newsl. 5:22-26.
- Schneider, R. W., Hollier, C. A., Whitam, H. K., Palm, M. E., McKemy, J. M. Hernandez, J. R., Levy, L., and DeVries-Paterson, R. 2005. First report of soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* in the continental United States. Plant Dis. 89:774.
- Sconyers, L. E., Kermerait, R. C., Brock, J., Phillips, D. V., Jost, P. H., Sikora, E. J., Gutierrez-Estrada, A., Mueller, J. D., Marois, J. J., Wright, D. L., and Harmon, C. L. 2006. Asian soybean rust development in 2005: A perspective from the

Southeastern United States. APSnet Feature.
(<http://www.apsnet.org/online/feature/sbr/>).

SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
2011. Disponible en: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>.

Sinclair, J.B., and Hartman, G.L. 1996. Proceedings of the soybeans rust workshop. 9-11 August 1995. National Soybeans Research Laboratory. Publication No.1. Collage of Agricultural Consumer and Environmental Sciences. University of Illinois, Urbana-Champaign. Pp 1-68.

SIAFESON, 2009. Roya Asiática de la soya *Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow. Sistema de Alerta Fitosanitaria del Estado de Sonora.

Sweets, E. L.; Allen W. J. and Wright S. ----. Soybean Rust. Agricultural M.V. Guide Published by mu Extension, University of Missouri-Colombia 12/04/15 Pp.1-6.

Tan, Y. J., Yu, Z. L., and Yang, C. Y. 1996. Soybean Rust. China Agriculture Press, Beijing, China.

Tan, Y. 1994. Epidemiology of soybean rust in China. Pages 50-58 in: The Advance of Soybean Rust Research. Proceedings of a meeting held in 1992. Hubei Science and Technology Publishing House, Wuhan, Peoples Republic of China.

Terán-Vargas, A. P., 2010. *Phakopsora pachyrhizi* Sydow & Sydow Roya asiática de la soya. Ficha Técnica. Campo experimental Las Huastecas CIR-NORESTE-INIFAP. San Luis Potosí. Pp.1-18.

Terán-Vargas, A. P., Vega-Aquino, P., Zambrano-Gutiérrez, J. 2010. Efecto de Quilt (azoxystrobin+propiconazole) sobre el vigor y rendimiento de la soya. Memorias XII Congreso Internacional / XXXVII Nacional de Fitopatología. Mérida, Yucatán, México. Resumen.

Terán-Vargas, A. P., García-Salazar, P. 2009. Control químico de la roya asiática en la soya para el ciclo primavera-verano 2009. Desplegado para productores No. MX-

- 0-310803-47-03-14-12-08. Campo Experimental Las Huastecas. CIRNE-INIFAP. Villa Cuauhtémoc, Tam., México. 2 p.
- Terán-Vargas, A. P., Ascencio, G. L., Maldonado M. N. y Ávila, J. V. 2007. La roya asiática de la soya en México. Folleto Técnico No. 22. Campo Experimental Sur de Tamaulipas, CIRNE-INIFAP. Altamira, Tam., México. 53 p.
- Thorson, T. 2007. Crop production - National Agricultural Statistics Service (NASS). Agricultural Statistics Board USDA. Retrieved on May 23, 2008 from (<http://www.nass.usda.gov>).
- Torres T. N. y Tovar P. AR., 2009. La historia del uso de la soya en México, su valor nutricional y su efecto en la salud. Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición, Vol. 51, No. 3, mayo-junio 2009. México D. F. pág. 246-247.
- Tremblay, A. 2011. Soybean Rust: Five Years of Research, Soybean - Molecular Aspects of Breeding, Dr. Aleksandra Sudaric (Ed.), ISBN: 978-953-307-240-1, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/soybean-molecular-aspects-of-breeding/soybean-rust-five-years-ofresearch>
- Tschanz, A. T. 1982. Soybean rust epidemiology. Final report. Asian Vegetable REsearch and Development Center, Shanhua, Tainan, Taiwan. 157 p.
- Tweert, S., and van Rij, N. 2004. Seasonal variations in spore concentrations of *Phakopsora pachyrhizi* and *Cercospora zeae-maydis*. South Afr. J. of Science 100:xiii.
- Twizeyimana, M., and Hartman, G. L. 2010. Culturing *Phakopsora pachyrhizi* on detached leaves and urediniospore survival at different temperatures and relative humidities. Plant Dis. 94:1453-1460.
- Twizeyimana, M., Ojiambo, P. S., Ikotun, T., Ladipo, J. L., Hartman, G. L., and Bandyopadhyay, R. 2008. Evaluation of soybean germplasm for resistance to soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Nigeria. Plant Dis. 92:947-952.

- USDA 2009. United States: Soybeans. World Agricultural Outlook Board; Joint Agricultural Weather Facility.
- USDA-CSREES. Integrated Pest Management Centers (IPMcenters), National Plant Diagnostic Network, APHIS, ARS y Land-Grant Universities. National Pest Alert. Soybean Rust *Phakopsora pachyrhizi* and *P. meibomia*.
- United States Department of Agriculture- Animal Plant Health Inspection Service (USDA-APHIS). 2006. Pest information platform for extension and education. Chronology of positive detections of soybean rust. Website for reporting of soybean rust in the U.S.
- Van der Plank, J. E. 1963. Plant Diseases: Epidemics and Control. Academic Press, New York.
- Wyse, J. 2005. Soybean Asian Rust. North Central Soybean Research Program (NCSRP) Pp-1-8.
- X. Li; A.P. Dias; P.D. Esker; L.Xue; Z. Pan y X.B. Yang. 2010. The uniqueness of the soybean rust pathosystem. An improved understanding of the risk in different regions of the world. Plant Disease / Vol. 94 No. pp.795-806.
- Yamaoka, Y., Fujiwara, Y., Kakishima, M., Katsuya, K., Yamada, K., and Hagiwara, H., 2002. Pathogenic races of *Phakopsora pachyrhizi* on soybean and wild host plants collected in Japan. J. Gen. Plant Pathol. 68:52-56.
- Yang, X. B., Dowler, W. M., and Tschanz, A. T. 1991. A simulation model for assessing soybean rust epidemics. J. Phytopathol. 133:187-200.
- Yáñez-Morales, M. J., Martínez, I. A., Soto-Rocha, J. M, Malvick, D. K., Kurle, J. E., Floyd, C. M., and Krupa, S.V. 2009. Soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* detected in the state of Campeche on the Yucatan Peninsula, Mexico. Plant Disease 93:847.

- Yeh, C. C., Sinclair, J. B. and Tschanz, A. T. 1982. Uredial development, uredospore production and factors affecting teliospore formation on soybeans. *Aus. J. Agric. Res.* 33:25-31.
- Yeh, C. C., Tschanz, A. T., and Sinclair, J. B. 1981. Induced teliospore formation by *Phakopsora pachyrhizi* on soybeans and other hosts. *Phytopathology* 71:1111-1112.
- Yorinori, J. T., Paiva, W. M., Frederick, R. D., Costamilan, L. M., Bertagnolli, P. F., Hartman, G. E., Godoy, C. V., and Nunes-Jr., J. 2005. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. *Plant Dis.* 89:675-677.
- Yorinori, J. T. 2005. A ferrugem “asiática” da soja no continente americano: evolucao, importância econômica e estratégias de controle. Pages 21-37 in: First workshop brasileiro sobre a ferrugem asiática, May 9-10, 2005. F. C. Juliatti, A. Castilho-Polizel, and O. Toshiyuki-Hamawaki, eds. Uberlandia, Mato Grosso, Brazil.
- Yorinori, J. T. 2004. Soybean rust: General overview. In: Proceedings of VII World Soybean Research Conference, IV International Soybean Processing and Utilization Conference, III Congresso Brasileiro de Soja (Brazilian Soybean Congress), Foz do Iguassu, PR, Brazil.
- Yorinori, J.T., Nunes Jr. J. y Lazzarotto J.J. 2004. Ferrugem “asiática” da soja no Brasil: evolucao importancia económica e controle. Documentos 247. EMBRAPA. Londrina, PR. 36p.
- Yorinori, J. T., Pavia, W. M., Frederick, R. D., Costamilan, L. M., Bertagnolli, P. F., Hartman, G., Godoy, C. V., and Nunes, Jr. J. 2003. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. *Plant Dis.* 89:675-677.
- Young H. M, Liberti D, Harmon P, Marois J. J., & Wright D. L. 2011. Identification of a candidate resistance gene to *Phakopsora pachyrhizi*, the causal agent of soybean rust, in the alternative host kudzu, *Pueraria* spp. *Phytopathology* 101: S199-S199

17. Zhining Tao, Dean Malvick, Roger Claybrooke, Crystal Floyd, Carl J. Bernacchi, Greg Spoden, James Kurle, David Gay, Van Bowersox and Sagar Krupa. 2009. Predicting the risk of soybean rust in Minnesota based on an integrated atmospheric model. *Int J Biometeorol.* (53), (2009), pp. 509–521.