



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE FITOSANIDAD**

**FITOPATOLOGÍA**

## **DETECCIÓN AÉREA DEL INÓCULO PRIMARIO Y SECUNDARIO DE LA ROYA ASIÁTICA DE LA SOYA EN EL SUR DE TAMAULIPAS**

**VICTORINO SANTIAGO PÉREZ**

**T E S I S**  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO**

2016

La presente tesis titulada: Detección aérea del inóculo primario y secundario de la roya asiática de la soya en el sur de Tamaulipas, realizada por el alumno: Victorino Santiago Pérez bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS  
FITOSANIDAD  
FITOPATOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

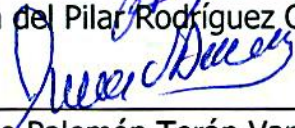
CONSEJERO

  
\_\_\_\_\_  
Dra. María de Jesús Yáñez Morales

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
Dra. María del Pilar Rodríguez Guzmán

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Antonio Palemón Terán Vargas

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Mayo 2016

# DETECCIÓN AÉREA DEL INÓCULO PRIMARIO Y SECUNDARIO DE LA ROYA ASIÁTICA DE LA SOYA EN EL SUR DE TAMAULIPAS

Victorino Santiago Pérez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2016

## RESUMEN

*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow reduce el rendimiento del cultivo de soya con pérdidas del 20 al 80 %. El objetivo del estudio fue detectar la densidad y fluctuación del inóculo aéreo primario y secundario de *P. pachyrhizi* en lluvia y viento, correlacionarlo con variables climatológicas y la enfermedad en campo (% de incidencia y severidad). En base a la Aerobiología (dispersión de esporas) se monitoreo del 31 Junio, 2014 al 21 de Mayo, 2015, el inóculo de uredosporas en lluvia (pluviómetros-trampa cambiados después de cada evento de lluvia) y viento (portaobjetos-trampa cambiados semanalmente). Las trampas se colocaron a dos alturas (85, 142 cm), y en cuatro sitios experimentales del Mpio. de Altamira, Tamaulipas durante los ciclos agrícola Primavera-Verano, 2014, y Otoño-Invierno 2014 y 2015 en parcelas con la variedad de soya H-200. Adicionales observaciones se hicieron en plantas voluntarias de soya y una maleza. La roya se identificó en plantas sintomáticas y uredosporas trampeadas por análisis morfológicos y moleculares. En trampas se contaron las uredosporas en microscopio compuesto a 40X. Se diferenció el inoculo primario del secundario. Inoculo primario: en lluvia se detectó una sola uredospora (5 Sep.) por la reducida boca de los pluviómetros (factor de interferencia); en viento fue del 18 Sep. al 16 Oct. (5-165 uredosporas), y se correlaciono con todas las direcciones del viento y temperatura mínima, y fue significativa con N, S y O. Las infecciones primarias se registraron el 16 Oct., con incidencia y severidad mínima en escala de Godoy. Inoculo secundario: con o sin el cultivo de soya se detectó este inóculo en lluvia y/o viento desde el 20 de Octubre, 2014 hasta el 21 de Mayo, 2015. En lluvia fueron mínimas y constantes (principalmente una) las uredosporas trampeadas y no se correlacionaron con las variables climatológicas evaluadas. En viento se detectó alta densidad de uredosporas (siete a casi un millón). Las siembras de Primavera-Verano escaparon a la enfermedad. La fluctuación de uredosporas fue notoria en Noviembre y se correlacionaron con todas las direcciones del viento y temperaturas; y la temperatura mínima se correlaciono con severidad baja (0.12-1.7 %) e incidencia alta (21-91 %). Las siembras de Otoño-Invierno fueron las más afectadas como esperado, con temperaturas propicias a la enfermedad y la fluctuación de uredosporas fue notoria en dos fechas: 1. Dic. 2014: con severidad alta (75 %), y se correlacionaron con todas las direcciones del viento e incidencia (100 %); y 2. Marzo y Abril, 2015: que se correlacionaron con el viento del Norte, y la temperatura media con severidad (38 %) e incidencia (100%). Las plantas voluntarias de soya fueron hospedante alternativo de la roya y fuente de inoculo secundario al igual que una maleza identificada en SLP. Se identificó por primera vez en México la forma sexual en la roya de la soya, telias con teliosporas. En general al parecer este es el primer estudio con el objetivo indicado. **Palabras clave:** aerobiología, *Phakopsora pachyrhizi*, pluviómetros-trampa, portaobjetos-trampa, teliosporas, plantas voluntarias.

**PRIMARY AND SECONDARY INOCULUM AERIAL DETECTION OF THE ASIAN  
SOYBEAN RUST IN THE SOUTH OF TAMAULIPAS REGION**

Victorino Santiago Perez, M.C.  
Colegio de Postgraduados, 2016

**ABSTRACT**

*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow reduces crop yield of soybean with losses of 20 to 80%. The aim of the study was to detect the density fluctuation of primary and secondary air inoculum of *P. pachyrhizi* in rain and wind, and their correlations with weather conditions and the field disease (% of incidence and severity). Based on the Airbiology (spore dispersal) from June 31, 2014 to May 21, 2015, urediniospores were monitoring in rain (rain gauges-trap changed after each rain event) and wind (slide-trap changed weekly) with traps placed at two heights (85, 142 cm). During the agricultural cycles of Spring-Summer 2014 and Autumn-Winter 2014 and 2015 in the municipality of Altamira, Tamaulipas, four experimental plots with H-200 soybean variety were sampled. Besides, observations were made on volunteer soybean plants. The urediniospores from traps were counted in the compound microscope at 40X. By morphological and molecular analysis soybean rust was identified in symptomatic plants and urediniospores trapped. It was possible to differentiate the primary from the secondary inoculum. Primary inoculum: in rain only one uredospore (5 Sep.) was detected (possibly by the reduced mouth of the rain gauges, an interference factor); in wind the inoculum was from 18 Sep. to 16 Oct. (5-165) and correlated with every wind direction and minimum temperature; and was significant with N, S and O. Primary infections were registered on 16 Oct. with minimum severity (Godoy scale) and incidence. Secondary inoculum: this one was detected in rain and / or wind from the October 20, 2014 until May 21, 2015 with or without soybean crop. The urediniospores trapped in rain were minimal and with frequents (primarily one) and they were uncorrelated with the climatic variables evaluated. In wind high-density urediniospores (seven to nearly one million) was detected. The crops during Spring-Summer escaped to the disease. Urediniospores fluctuation was evident in November and correlated with all wind directions and temperatures; and the minimum temperature was correlated with low disease severity (0.12-1.7%) and high incidence (21-91%). As expected crop plots during Fall-Winter were the most affected. Temperatures were conducive to disease and fluctuating urediniospores was evident in two dates. 1. During December 2014 with high disease severity (75%), and was correlated with all wind directions and incidence (100 %). 2. On March and April, 2015 which were correlated with the North wind, and the temperature average with severely (38%) and incidence (100%). Voluntary soybean plants were alternate host rust and secondary inoculum source like the identified weed in SLP. Telia with teliospores were for first time identified in Mexico. Apparently this is the first study with the objective indicated.

**Keywords:** airbiology, *Phakopsora pachyrhizi*, rain gauges trap, slide-trap, teliospores, volunteer plants.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por permitirme alcanzar esta meta.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado durante la maestría.

Al Colegio de Postgraduados y al Programa de Fitosanidad-Fitopatología por brindarme la oportunidad de recibir las enseñanzas y experiencias de los profesores.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Las Huastecas, por el apoyo brindado durante mi estancia en Tamaulipas.

A la Dra. María de Jesús Yáñez Morales por su paciencia y apoyo durante mi estancia en el Colegio de Postgraduados.

A mis asesores: Dra. María del Pilar Rodríguez Guzmán y Dr. Antonio Palemón Terán Vargas por su disposición, apoyo y las sugerencias brindadas para la realización y culminación del presente trabajo.

A todos muchas gracias.

Con cariño y admiración a mis padres

María Concepción Pérez Salvador y Eliseo Santiago Orta

por sus consejos y el apoyo incondicional que me brindaron.

A mis hermanos por su compañía y apoyo, en la distancia siempre manteniéndome

al tanto de la salud de mi madre.

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN GENERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Planteamiento del problema .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Objetivo general.....</b>	<b>2</b>
2.1. Objetivos específicos .....	3
2.1.1. Inóculo primario de <i>P. pachyrhizi</i> .....	3
2.1.2. Inóculo secundario de <i>P. pachyrhizi</i> .....	3
<b>3. Hipótesis.....</b>	<b>3</b>
3.1. Inóculo primario de <i>P. pachyrhizi</i> .....	3
3.2. Inóculo secundario de <i>P. pachyrhizi</i> .....	3
<b>CAPITULO I. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
1.1. Importancia del cultivo de soya .....	4
1.2. Estadios del cultivo de soya.....	4
1.3. Variedades de soya desarrolladas en México por el INIFAP (Campo Experimental las Huastecas) .....	6
1.4. Roya asiática de la soya .....	7
1.4.2. Clasificación taxonómica de <i>P. pachyrhizi</i> .....	10
1.4.3. Hospedantes alternativos de la roya asiática de la soya .....	10
1.4.4. Factores que intervienen en la biología de <i>P. pachyrhizi</i> y su epidemiología .....	12
1.4.5. Biología de <i>P. pachyrhizi</i> .....	14
1.4.5.1. Síntomas de la roya asiática de la soya .....	15
1.4.5.2. Signos de la roya asiática de la soya .....	15
1.4.6. <i>P. pachyrhizi</i> su dispersión y pérdidas que ocasiona en el rendimiento .....	17
1.4.7. Manejo de la roya asiática de la soya.....	21
1.4.7.1. Control químico .....	21
1.4.7.2. Mejoramiento genético en soya .....	23
1.4.7.3. Control cultural .....	25
1.5. LITERATURA CITADA .....	26
<b>CAPITULO II. DETECCIÓN AÉREA DEL INÓCULO PRIMARIO DE LA ROYA ASIÁTICA (<i>Phakopsora pachyrhizi</i>) DE LA SOYA (<i>Glycine max</i>) .....</b>	<b>33</b>

RESUMEN .....	33
<b>2.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>34</b>
<b>2.2. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>36</b>
2.2.1. Localización del experimento .....	36
2.2.2. Inóculo Primario en agua de lluvia .....	37
2.2.2.1. Pluviómetros-Trampa.....	37
2.2.2.1.1. Manejo de trampas .....	37
2.2.3. Inóculo Primario en Viento.....	38
2.2.3.1. Portaobjetos-trampa .....	38
2.2.3.1.1. Manejo de las trampas y cuantificación de uredosporas .....	39
2.2.4. Detección de infecciones primarias foliares .....	39
2.2.5. Identificación morfológica.....	40
2.2.6. Caracterización molecular.....	40
2.2.7. Análisis estadístico.....	41
<b>2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>41</b>
2.3.1. Inóculo Primario en Agua de Lluvia.....	41
2.3.1.1. Trampas-pluviómetros .....	42
2.3.1.1.1. Sitio 1 – CEHUAS. ....	42
2.3.1.1.2. Sitio 2: La Resolana. ....	52
2.3.2. Inóculo Primario en Aire.....	43
2.3.2.1. Trampas-portaobjetos.....	43
2.3.2.1.1. Altura de trampas. ....	44
2.3.2.2. Sitio 1 CEHUAS: Efecto de la precipitación pluvial en la densidad del inóculo primario....	45
2.3.2.2.1. Trampas a 142 cm. ....	45
2.3.2.2.2. Trampas a 85 cm. ....	45
2.3.2.2.3. Dirección de trampas.....	46
2.3.2.2.4. Correlación con altura de trampas.....	50
2.3.2.2.5. Análisis de componentes principales .....	50
2.3.3. Sitio 2 La Resolana .....	52
2.3.3.1. Análisis de componentes principales. ....	53
2.3.4. Identificación morfológica.....	55
2.4. CONCLUSIONES .....	58



2.5. LITERATURA CITADA .....	59
<b>CAPITULO III. DETECCIÓN AÉREA DEL INÓCULO SECUNDARIO DE LA ROYA ASIÁTICA (<i>Phakopsora pachyrhizi</i>) DE LA SOYA (<i>Glycine max</i>).....</b>	<b>63</b>
RESUMEN .....	63
3.1. INTRODUCCIÓN .....	64
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	65
3.2.1. Localización del experimento .....	65
3.2.2. Monitoreo aéreo del inóculo secundario .....	67
3.2.3. Incidencia y severidad.....	67
3.2.4. Identificación morfológica.....	68
3.2.5. Análisis estadístico.....	69
3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	69
3.3.1 Inóculo secundario en precipitación pluvial .....	69
3.3.1.1 Campo experimental Las Huastecas .....	69
3.3.1.2 Rancho La Resolana.....	71
3.3.2 Inóculo secundario en viento .....	72
3.3.2.1 Ciclo primavera-verano 2014.....	72
<b>3.3.2.1.1 Sitio 1 (Campo Experimental Las Huastecas) .....</b>	<b>72</b>
<b>3.3.2.1.2 Sitio 2 (Rancho La Resolana) .....</b>	<b>78</b>
3.3.2.2 Ciclo otoño-invierno 2014 .....	84
<b>3.3.2.2.1 Sitio 3 (Campo Experimental Las Huastecas) .....</b>	<b>84</b>
3.3.2.3 Ciclo otoño-invierno tardío 2015 .....	84
<b>3.3.2.3.1 Sitio 4 (Campo Experimental Las Huastecas) .....</b>	<b>89</b>
3.3.3 Identificación morfológica.....	96
3.3.4 Identificación molecular .....	101
3.4 CONCLUSIONES .....	104
3.5 LITERATURA CITADA .....	105
RECOMENDACIONES GENERALES.....	107

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de las etapas fenológicas del cultivo de soya .....	5
Cuadro 2. Características morfológicas de la forma asexual de <i>P. pachyrhizi</i> y <i>P. meibomiae</i> . ....	7
Cuadro 3. Diferencias morfológicas de la forma sexual de <i>P. pachyrhizi</i> y <i>P. meibomiae</i> . ....	8
Cuadro 4. Plantas que desarrollan síntomas de <i>P. pachyrhizi</i> y que son potenciales hospedantes de la enfermedad. .	11
Cuadro 5. Distribución geográfica de <i>P. pachyrhizi</i> . ....	18
Cuadro 6. Distribución de la roya de la soya en México. ....	19
Cuadro 7. Cierre anual de la producción agrícola 2013 por cultivo a nivel estado y nacional. ....	20
Cuadro 8. Producción nacional del cacahuete en riesgo por la presencia de la roya asiática de la soya. ....	21
Cuadro 9. Comparación de medias por la prueba de Tukey de acuerdo a la densidad del inóculo primario de <i>P. pachyrhizi</i> por sitio de muestreo en Altamira, Tamaulipas durante el ciclo primavera-verano. ....	45
Cuadro 10. Coeficiente de correlación entre las variables en estudio y su relación con la densidad del inóculo primario a dos alturas de trampas en el CEHUAS. ....	50
Cuadro 11. Valores característicos de la correlación de acuerdo a la densidad del inóculo en cada punto cardinal de muestreo a 85 y 142 cm de altura en el CEHUAS. ....	51
Cuadro 12. Componentes principales de acuerdo a la densidad del inóculo primario en cada punto cardinal de muestreo a 85 y 142 cm de altura. ....	51
Cuadro 13. Coeficiente de correlación entre las variables en estudio y su relación con la densidad del inóculo primario a 85 y 142 cm de altura. ....	53
Cuadro 14. Valores característicos de la correlación de acuerdo a la densidad del inóculo en cada punto cardinal de muestreo a 85 y 142 cm de altura en el Rancho La Resolana. ....	54
Cuadro 15. Componentes principales de acuerdo a la densidad del inóculo primario en cada punto cardinal de muestreo a 85 y 142 cm de altura. ....	54
Cuadro 16. Correlación de la densidad del inóculo secundario detectado en las trampas-portaobjeto y las variables evaluadas durante el ciclo primavera-verano 2014 en el CEHUAS (Sitio 1). ....	73
Cuadro 17. Asociaciones establecidas de la densidad del inóculo con la severidad e incidencia de la roya de la soya en el CEHUAS del 16 de octubre al 20 de noviembre, durante el ciclo primavera-verano 2014 en Altamira, Tamaulipas. ....	76
Cuadro 18. Vectores identificados en el análisis de componentes principales que explican la densidad del inóculo secundario muestreado del 16 de octubre al 20 de noviembre en el CEHUAS, durante el ciclo primavera-verano 2014 en Altamira, Tamaulipas. ....	77
Cuadro 19. Componentes principales identificados para la densidad del inóculo secundario durante el ciclo primavera-verano 2014 en el CEHUAS en Altamira Tamaulipas. ....	78

Cuadro 20. Correlación de la densidad del inóculo secundario detectado en las trampas-portaobjeto y las variables evaluadas durante el ciclo primavera-verano 2014 en el Rancho La Resolana. ....	79
Cuadro 21. Asociaciones establecidas, mediante análisis de correlación (coeficiente de Pearson $\rho$ ), de la densidad del inóculo con la severidad e incidencia de la roya de la soya considerando el efecto de las variables estrato de la planta y temperaturas, en el Rancho La Resolana durante el ciclo primavera-verano 2014 en Altamira, Tamaulipas.82	
Cuadro 22. Vectores identificados en el análisis de componentes principales que explican la densidad del inóculo secundario muestreado del 16 de octubre al 21 de noviembre en La Resolana, durante el ciclo primavera-verano 2014 en Altamira, Tamaulipas.....	83
Cuadro 23. Componentes principales identificados para la densidad del inóculo secundario durante el ciclo primavera-verano 2014 en La Resolana en Altamira Tamaulipas. ....	83
Cuadro 24. Correlación de la densidad del inóculo secundario detectado en las trampas-portaobjeto en ambas alturas durante el ciclo otoño-invierno 2014 en el CEHUAS de Altamira, Tamaulipas. ....	85
Cuadro 25. Asociaciones establecidas de la densidad del inóculo con la severidad e incidencia de la roya de asiática de la soya en el CEHUAS durante el ciclo otoño-invierno 2014 en Altamira, Tamaulipas. ....	87
Cuadro 26. Vectores identificados en el análisis de componentes principales que influyen en la densidad del inóculo secundario muestreado a partir de los portaobjetos-trampa del 20 de noviembre al 31 de diciembre durante el ciclo otoño- invierno en el CEHUAS, en Altamira Tamaulipas.....	88
Cuadro 27. Componentes principales identificados con cada una de las variables evaluadas y su efecto positivo y negativo que influyen en la densidad del inoculo presente en el sur de Tamaulipas durante el ciclo otoño-invierno 2014, en el CEHUAS en Altamira, Tamaulipas. ....	88
Cuadro 28. Variables correlacionadas con la densidad del inóculo secundario detectado en los portaobjetos-trampa durante el ciclo Otoño-Invierno tardío 2015 en el CEHUAS en Altamira, Tamaulipas.....	91
Cuadro 29. Vectores principales identificados a través del análisis de componentes principales para las variables evaluadas en función de la densidad del inóculo secundario en el CEHUAS ciclo tardío otoño-invierno 2015, en Altamira Tamaulipas. ....	92
Cuadro 30. Variables que constituyen cada uno de los componentes principales que explicaron el 82 % de la variación total en función de la densidad del inóculo en el CEHUAS del del sur de Tamulipas durante el ciclo Otoño-Invierno tardío 2015.....	93
Cuadro 32. Correlación de la fluctuación de la densidad de uredosporas de la roya asiática en ambas alturas en ausencia de cultivo en plantas voluntarias durante el ciclo Otoño-Invierno 2015 en el CEHUAS.....	94
Cuadro 33. Vectores principales identificados a través del análisis de componentes principales para las variables evaluadas en función de la densidad del inóculo secundario en el CEHUAS ciclo tardío Otoño-Invierno 2014-2015, en Altamira, Tamaulipas.....	95
Cuadro 34. Variables que conforman cada vector principal y sus varianzas que indican su influencia en la densidad del inóculo secundario muestreado en el CEHUAS durante ciclo tardío Otoño-Invierno 2014-2015, en Altamira Tamaulipas.....	<b>95</b>
Cuadro 35. Periodo de muestreo en los que se detectó la fase sexual de <i>P. pachyrhizi</i> en el cultivo de soya en Altamira Tamaulipas. ....	99
Cuadro 36. Muestras recolectadas pasa su análisis molecular a partir de ejido con síntomas y signos de <i>P. pachyrhizi</i> en su estado asexual.....	102

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. A) Sección longitudinal de una uredia de *P. pachyrhizi* en *Pachyrhizus erosus* de Taiwán, isotipo, PUR-66727. Escala = 13  $\mu\text{m}$ . B) Sección longitudinal de telia de *P. pachyrhizi* en *Glycine max* de Japón, PUR-79025. Escala = 20  $\mu\text{m}$ . C) Sección longitudinal de telia de *P. pachyrhizi* en *Glycine max* de China, PUR-80927. Escala = 10  $\mu\text{m}$ . D) Sección longitudinal de la telia de *P. meibomiae* en *Pachyrhizus erosus* de México, PUR-88336. Escala = 10  $\mu\text{m}$ . E) Sección longitudinal de la telia de *P. meibomiae* en *Phaseolus lunatus* de Brasil, PUR-66695. Escala = 10  $\mu\text{m}$ . F) Esporas de *P. pachyrhizi* en *Pachyrhizus erosus* de las Filipinas, Pur-66692. Nota: poros germinales (flecha), más o menos dispersos en la zona ecuatorial. Escala 10  $\mu\text{m}$ . G) Esporas de *P. pachyrhizi* en *Glycine max* de Japón, PUR-79025. Nota: poros germinales diseminados. Escala = 10  $\mu\text{m}$ . .....9
- Figura 2. Ciclo biológico de *P. pachyrhizi* de acuerdo a Deveral *et al.* (1977); Keogh *et al.* (1980); Miles *et al.* (2003); Rupe y Sconyers, (2008); Edwards y Bonde,(2011); Tremblay *et al.* (2013); Bettgenhaeuser *et al.*(2014)...17
- Figura 3. Fluctuación de la densidad del inóculo primario de *P. pachyrhizi* en viento en presencia de lluvia durante el ciclo Primavera-Verano 2014 a dos diferentes alturas, y del 18 de Septiembre al 16 de Octubre en el Campo Experimental Las Huastecas-INIFAP (CEHUAS) en Villa Cuauhtémoc municipio de Altamira, Tamaulipas. ....19
- Figura 3.I. Escala de severidad de Godoy *et al.* (2006) para la roya asiatica de la soya, *P. pachyrhizi*.....40
- Figura 4. Densidad del inóculo primario de *P. pachyrhizi* registrado en las trampas del N, S, E y O hasta la aparición de las infecciones primarias, sin considerar la altura de muestreo, en el CEHUAS durante el ciclo Primavera-Verano 2014. 47
- Figura 5. Fluctuación del inóculo de *P. pachyrhizi* a 85 cm de altura en cada uno de los puntos cardinales en los portaobjetos-trampa en el CEHUAS durante el ciclo Primavera-Verano 2014.....47;**Error! Marcador no definido.**
- Figura 6. Fluctuación del inóculo de *P. pachyrhizi* a 142 cm de altura en cada uno de los puntos cardinales en los portaobjetos-trampa en el CEHUAS durante el ciclo Primavera-Verano 2014.....49
- Figura 7. Gel de agarosa con productos amplificados de PCR con primers específicos para *P. pachyrhizi*. Carriles 1 y 6, marcador (100 bp); Carril 2, control negativo; Carril 3, producto de PCR de roya de la soya en muestras de tejido sintomático del 24 de Octubre del 2014; Carril 4, producto de PCR de roya de la soya en muestras tejido sintomático del 6 de Noviembre del 2014; Carril 5, control positivo. ....56
- Figura 8. Fluctuación de la Pr y del inóculo secundario de *P. pachyrhizi* detectados en agua de lluvia, a partir de pluviómetros-trampa en Altamira, Tamaulipas. ....70
- Figura 9. Fluctuación de la precipitación y del inóculo secundario detectados en lluvia, a partir de pluviómetros-trampa en el Rancho La Resolana durante el ciclo agrícola primavera-verano 2014 en Altamira, Tamaulipas. ....72
- Figura 10. Fluctuación de la densidad del inóculo secundario a 85 y 142 cm de altura, y temperaturas promedio después de la detección de las infecciones primarias en el CEHUAS (Tx = Temperatura máxima, Tn = Temperatura mínima y Tm = Temperatura media). ....74
- Figura 11. Fluctuación del inóculo secundario en los puntos cardinales de muestreo en los portaobjetos-trampas, en ambas alturas durante el ciclo primavera-verano 2014 en el CEHUAS [norte (N), sur (S), este (E), y oeste (O)]. ....75

Figura 12. Fluctuación de la densidad del inóculo secundario en los portaobjetos-trampa a 85 y 142 cm de altura y las temperaturas promedio, a partir de la detección de las infecciones primarias en el Rancho La Resolana durante el ciclo primavera-verano 2014 en Altamira, Tamaulipas (Tx = Temperatura máxima, Tn= Temperatura mínima y Tm = Temperatura media). .....	80
Figura 13. Densidad del inóculo secundario en los cuatro puntos cardinales de muestreo, a partir de portaobjetos-trampa en ambas alturas, en el Rancho La Resolana en el ciclo primavera-verano 2014.....	81
Figura 14. Fluctuación de la densidad del inóculo secundario a 85 y 142 cm de altura, a partir de portaobjetos-trampa, en relación a las temperaturas promedio (Tm), máxima (Tx), y mínima (Tn), durante el ciclo otoño-invierno 2014 en el CEHUAS de Altamira, Tamaulipas. ....	85
Figura 15. Densidad del inóculo secundario en los puntos cardinales de muestreo, obtenidos en los portaobjetos-trampa en ambas alturas en el CEHUAS durante el ciclo otoño invierno 2014 en Altamira, Tamaulipas. ....	86
Figura 16. Fluctuación de la densidad de uredosporas de la roya asiática de la soya a 85 y 142 cm de altura detectados a partir de portaobjetos-trampa, y temperaturas promedio durante el ciclo otoño invierno tardío 2015 en el CEHUAS. ....	90
Figura 17. Densidad del inóculo secundario en los puntos cardinales de muestreo, obtenidos en los portaobjetos-trampa en ambas alturas en el CEHUAS durante el ciclo otoño invierno tardío 2015 en Altamira, Tamaulipas. ....	90
Figura 18. <i>P. pachyrhizi</i> en soya ( <i>G. max</i> ) durante el ciclo primavera-verano 2014 (16 de octubre al 30 de diciembre en el CEHUAS de Altamira Tamaulipas. A) Manchas necróticas de la roya asiática de la soya en el haz de los folíolos de soya en la parte inferior de la planta. B) Uredias de la roya asiática en un foliolo de soya dispersos y en grupo en producción de uredosporas polvosa de coloración canela. C) Corte longitudinal de una uredia que muestra paráfisis de origen del pseudoparenquima. D) Corte longitudinal de una uredia que muestra paráfisis de origen himenial con uredosporas sésiles. ....	97
Figura 19. Uredosporas de coloración amarillo pálido de forma ovoide de <i>P. pachyrhizi</i> con un poro germinativo visible. ....	98
Figura 20. A) Corte longitudinal de una telia en el envés de un foliolo de soya del 27 de diciembre de 2014, se observa que es de origen subepidermal con teliosporas costrosas de color castaño a chocolate, de forma subglobosa y angulares que se producen en forma catenular dispuestas irregularmente. B) Fase sexual de <i>P. pachyrhizi</i> mezclado con la fase asexual. ....	100
Figura 21. Gel de agarosa con productos amplificados de PCR con primers específicos para <i>P. pachyrhizi</i> . A) Uredias: Carril 1 y 8, marcador; Carril 2, control negativo; Carril 3 a 6 productos de PCR de tejidos de soya sintomáticas y Carril 7, Control positivo de acuerdo al Cuadro 3.35. B) Telias: Carriles 1 y 9, marcador (100 bp); Carril 2, control negativo; Carril 3, producto de PCR de las telias de la roya de la soya del 13 de noviembre del 2014; Carril 4 al 7 no se obtuvo ningún producto de PCR de las muestras de teliosporas de la roya; Carril 8, control positivo descritos en el (Cuadro 3.34). ....	101-102

## INTRODUCCIÓN GENERAL

### 1. Planteamiento del problema

La roya asiática de la soya causada por (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow), de origen oriental de hace casi un siglo (Schneider *et al.*, 2005), es una enfermedad devastadora que se ha expandido a muchas regiones del mundo donde se cultiva la soya [*Glycine max* (L.) Merrill] (Choi *et al.*, 2008); y por ser un parasito obligado, su estudio es complejo. Ocasiona una defoliación prematura y la reducción del rendimiento (Kumudini *et al.*, 2008); y con pérdidas de 20 a 80 % en condiciones óptimas de desarrolló, y en regiones donde la enfermedad es endémica los daños son más severos (Hartman *et al.*, 1991; Peccia y Hernandez, 2006; Li *et al.*, 2012; Tremblay *et al.*, 2013). Su distribución mundial se debe en parte a que sus uredosporas se separan de los pedicelos de las uredias con gran facilidad y son transportados por las corrientes de aire ( Li *et al.*, 2012; Tremblay *et al.*, 2013).

En 2004 fue reportada por primera vez en Estados Unidos en un campo cerca de Baton Rouge, LA (Schneider *et al.*, 2005; Harmon *et al.*, 2006), durante el 2005 es reportada en Ébano y Tamuín del estado de San Luis Potosí y en el sur de Tamaulipas, México, en lotes comerciales de soya de la variedad Huasteca 400 correspondientes al ciclo Primavera-Verano (Cárcamo-Rodríguez *et al.*, 2006; Terán-Vargas *et al.*, 2007), a finales del 2006, es reportada en Veracruz, en cultivos de jícama [*Pachyrhizus erosus* (L.)]; y afectando de esta manera la planicie Huasteca (Norte de Veracruz, Oriente de San Luis Potosí (S. L. P.) y Sur de Tamaulipas), zona que aporta el 66 % de la producción nacional (Terán-Vargas *et al.*, 2007). Además en 2008 se confirma la presencia de la roya asiática en Chiapas, en cultivos de soya y jícama, del cual depende el 22.5 % de la producción nacional de grano de soya; el mismo año es identificada en Campeche cerca de la Península de Yucatán, posteriormente en 2009, se detecta en hospedantes silvestres en Tamaulipas, a finales del 2011 es confirmado cerca de la ciudad de Campeche en plantas de soya próximos a la madurez fisiológica, y en 2012 es reportado afectando frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Jamapa, en el sur de Tamaulipas (Terán-Vargas *et al.*, 2007; Yáñez-Morales *et al.*, 2009; Cárcamo-Rodríguez *et al.*, 2013). La roya de la soya continúo con su diseminación y en 2013, se confirmó afectando a cultivos de jícama en los estados de Guanajuato y Morelos, y el mismo año es reportado en los estados de Guerrero, Nayarit y Sinaloa (Hernández-Hernández *et al.*, 2014).

Desde el primer reporte de la roya asiática en 2005, se ha reconocido su presencia en 10 estados de la República Mexicana y un cultivo (cacahuete) en riesgo por su cercanía a una detección. Estados que contribuyen con el 57.01 % de la producción nacional de cacahuete [*Arachis hypogaea* (L)], 34.27 % de la producción nacional de frijol; y de los cuales nueve aportan el 76.98 % de la producción nacional de jícama y cinco aportan el 94.65 % de la producción nacional de soya (SIAP, 2014). De manera que se encuentran en riesgo gran parte de la producción, considerando que el ciclo agrícola anual corresponde a los ciclos de primavera-verano y otoño-invierno. Por lo que es de gran interés conocer la carga de inóculo primario y secundario de la roya asiática de la soya presente en el ambiente del sur de Tamaulipas que podría afectar el rendimiento de grano del cultivo soya y otros cultivos presentes en la región, considerando la existencia de reservorios que contribuyen a mantener el ciclo biológico del hongo, como lo son las nacencias (plantas voluntarias de soya) y malezas. Motivo por el cual, el presente trabajo en Aerobiología [ciencia que estudia las partículas biológicas suspendidas en el aire (Lacey, 1996)] fue para detectar y cuantificar la presencia de inóculo primario y secundario de la roya asiática en el cultivo de soya. Además de encontrar alguna posible relación con la velocidad del viento, dirección del viento, precipitación, temperatura y la humedad relativa durante los ciclos productivos, para observar el comportamiento que tiene el patógeno antes y después de las infecciones primarias dentro del cultivo. El estudio se hizo con el fin de obtener datos que le permitan al agricultor la toma de decisiones sobre acciones preventivas para la protección de su cultivo.

Por la gran importancia económica que representan los cultivos que se ven afectados por este patógeno y a los graves daños que ocasiona la roya, además del incremento de los costos de producción, se plantean los siguientes objetivos.

## **2. Objetivo general**

- Detectar y cuantificar la fluctuación del inóculo primario y secundario de *P. pachyrhizi* en lluvia y viento y encontrar su posible relación con la velocidad del viento, dirección del viento, precipitación, temperatura y la humedad relativa durante tres ciclos del cultivo de soya.

## **2.1. Objetivos específicos**

### **2.1.1. Inóculo primario de *P. pachyrhizi***

- Detectar la presencia y fluctuación del inóculo aéreo primario (uredosporas) de *P. pachyrhizi* en lluvia y viento del sur de Tamaulipas.
- Determinar la posible relación entre el inóculo aéreo primario de la roya asiática de la soya presente en lluvia y viento con las variables climatológicas humedad relativa, temperatura, precipitación, y dirección y velocidad del viento, en el sur de Tamaulipas.

### **2.1.2. Inóculo secundario de *P. pachyrhizi***

- Detectar la presencia y fluctuación del inóculo aéreo secundario (uredosporas) de *P. pachyrhizi* en lluvia y viento del sur de Tamaulipas.

### **2.1.3. Correlacionar:**

- a) La densidad de la mezcla del inóculo primario y secundario presente en el ambiente con incidencia y severidad de la roya asiática de la soya,
- b) La incidencia y severidad de la roya asiática de la soya con la velocidad del viento, dirección del viento, precipitación, temperatura y la humedad relativa en el sur de Tamaulipas.

## **3. Hipótesis**

### **3.1. Inóculo primario de *P. pachyrhizi***

- La presencia y fluctuación del inóculo primario de la roya asiática de la soya en lluvia y viento se encuentran influenciada por las variables climatológicas en el sur de Tamaulipas.

### **3.2. Inóculo secundario de *P. pachyrhizi***

- La presencia y fluctuación del inóculo secundario de la roya asiática de la soya en lluvia y viento se encuentra influenciada por la presencia de la enfermedad en campo y las variables climatológicas del sur de Tamaulipas.



## CAPITULO I. REVISIÓN DE LITERATURA

### 1.1. Importancia del cultivo de soya

Uno de los mayores desafíos de los tiempos actuales es mejorar la producción agrícola (Schwessinger *et al.*, 2015). Las pérdidas ocasionadas por las enfermedades de plantas oscilan entre 9.7 y 16 % de la producción potencial a nivel mundial (Pinstrup-Andersen, 2000; Oerke, 2006). La soya es uno de los cultivos más importantes del mundo, representa el 48 % del mercado mundial de cultivos oleaginosos, y es utilizado ampliamente para la producción de aceite y proteínas además de servir como alimento para animales (Khanh *et al.*, 2013). Cultivándose de esta manera en el 6 % de la tierra cultivable en el mundo (Hartman *et al.*, 2011).

Su clasificación taxonómica de acuerdo con el NCBI (2015a) es la siguiente.

Super-Reino: Eukaryota

Reino: Viridiplantae

Filo: Streptophyta

Subclase: Rosids

Orden: Fabales

Familia: Fabaceae

Subfamilia: Papilionoideae

Tribu: Phaseoleae

Género: *Glycine*

Nombre botánico: *Glycine max* (L.) Merr.

### 1.2. Estadios del cultivo de soya

Para describir las etapas fenológicas del cultivo de la soya, se emplea la escala desarrollada por Fehr *et al.* (1971); en los que se describe el desarrollo vegetativo y reproductivo por separado (Cuadro 1). Las etapas vegetativas se determinan por el número de nudos en el tallo principal, iniciando con el nudo de las hojas unifoliadas una vez que las hojas estén completamente desarrolladas; donde una hoja se considera completamente desarrollada cuando la hoja del nudo inmediato superior se ha desarrollado lo suficiente de modo que los dos bordes de cada foliolo no se toquen. Para el nudo terminal del tallo principal, las hojas se consideran

completamente desarrollada cuando los folíolos estén extendidos y en apariencia similares a las hojas más viejas de la planta.

Las etapas reproductivas comprenden desde el inicio de la floración R1 y R2, desarrollo de la vaina R3 y R4, desarrollo de la semilla R5 y R6 hasta la madurez fisiológica R7 y R8 (Cuadro 1). Donde la etapa designada debe representar el promedio de las plantas estudiadas. Las descripciones de la etapa se aplican directamente a las plantas individuales. Únicamente se considera el tallo principal.

**Cuadro 1.** Descripción de las etapas fenológicas del cultivo de soya.

<b>Estadios</b>	<b>Descripción</b>
<u>Estadios vegetativos*</u>	
V1	Primer nudo, hojas unifoliadas completamente desarrolladas
V2	Segundo nudo, primera hoja trifoliada totalmente desarrolladas anterior a las hojas unifoliadas
V3	Tercer nudo, segunda hoja trifoliada totalmente desarrolladas anterior al nudo de la primera hoja trifoliada
V(N)	N nudo en el tallo principal a partir del primer nudo con la hoja unifoliada
<u>Estadios reproductivos*</u>	
R1	Una flor abierta en cualquier nudo.
R2	Una flor abierta en uno de los dos nudos superiores con hojas completamente desarrolladas.
R3	Una vaina de 0.5 cm de largo en uno de los cuatro nudos superiores con una hoja completamente desarrollada.
R4	Una vaina de 2 cm de largo en uno de los cuatro nudos superiores con una hoja completamente desarrollada.
R5	Inicio del desarrollo de la semilla en uno de los cuatro nudos superiores con una hoja desarrollada (se puede sentir cuando se al presionar la vaina)
R6	Cuando la semilla aun verde ocupo toda la cavidad de la vaina, en uno de los cuatro nudos superiores con una hoja completamente desarrollada
R7	Vainas de coloración amarillenta; 50% de las hojas amarillas (madurez fisiológica).
R8	El 95% de las vainas de color marrón (madurez de cosecha)

\*Fehr *et al.*, 1971

### **1.3. Variedades de soya desarrolladas en México por el INIFAP (Campo Experimental las Huastecas) son las siguientes seis:**

1. Huasteca 100, tiene un ciclo de 116 días, de crecimiento determinado, las plantas florecen a los 48 días después de la siembra, alcanzando una altura de 84 cm. Es resistente a enfermedades y plagas presentes en sur de Tamaulipas, llegando un rendimiento promedio de 2.3 t/ha (Maldonado y Ascencio, 2010a).
2. Huasteca 200, tiene un ciclo de 118 días, de crecimiento semideterminado florece a los 52 días después de la siembra, las plantas alcanzan una altura de 109 cm. Es resistente a enfermedades y plagas presentes en la región sur de Tamaulipas y otras regiones del trópico mexicano. El rendimiento promedio de esta variedad es de 2.1 t/ha, tiene una baja sensibilidad al fotoperiodo corto del trópico y tiene excelente adaptación a siembras tardías de verano (Maldonado y Ascencio, 2010b).
3. Huasteca 300, llega a la madurez fisiológica a los 116 días, es de hábito de crecimiento indeterminado, la floración inicia a los 41 días después de la siembra, las plantas alcanzan una altura de 78 cm. Alcanza un rendimiento promedio de 2.6 t/ha, el cultivar es resistente al acame, a enfermedades y plagas presentes en la región, y con baja sensibilidad al fotoperiodo corto (Maldonado *et al.*, 2009).
4. Huasteca 400, llega a la madures fisiológica a los 111 días, las plantas florecen a los 46 días después de la siembra y alcanzan una altura de 80 cm. Alcanza un rendimiento promedio de 2.6 t/ha, con un potencial de producción de 3.3 t/ha, siendo resistente a las diferentes enfermedades y plagas presentes en la región, es de foto periodo corto, ideal para el ciclo primavera-verano (Maldonado *et al.*, 2010).
5. Tamesí es una variedad de soya que es de hábito de crecimiento determinado y de ciclo corto. Inicia su floración a los 43 días después de la siembra llegando a la madurez fisiológica a los 117 días después de la siembra con una altura final de 66 cm. Tiene un rendimiento promedio de 2.6 t/ha y presenta un buen nivel de resistencia a las enfermedades y plagas más comunes de la región (Maldonado y Ascencio, 2012).
6. Huasteca 600, es una variedad de fotoperiodo corto con hábito de crecimiento determinado, florece a los 48 días, y llega a la madurez fisiológica a los 119 días después de la siembra, con una altura final de 79 cm. El rendimiento promedio de esta variedad es

de 2.9 t/ha, presentando resistencia al acame, al desgrane y a las diferentes enfermedades y plagas presentes en la región (Maldonado y Ascencio, 2014).

Todas las variedades están adaptadas a regiones tropicales de tierras bajas con clima húmedo y subhúmedo con promedio anual de precipitaciones de 800 a 1000 mm y temperaturas promedio de 25 a 27 °C, ideal para el ciclo primavera-verano.

#### 1.4. Roya asiática de la soya

El cultivo de la soya es afectado por dos especies de hongos que causan la roya de la soya: *P. meibomiae* (Arthur) Arthur, conocida como roya americana de baja agresividad y *P. pachyrhizi*, conocida como la roya asiática de la soya, y es difícil diferenciar ambas especies en su forma asexual (Cuadro 2), y únicamente se diferencian por su forma sexual, el rango de hospedantes y su distribución geográfica (Cuadro 3, Figura 1) (Ono *et al.*, 1992). *P. pachyrhizi* es la más agresiva y de mayor importancia, ya que causa considerables pérdidas en el rendimiento comparado con *P. meibomiae* (Posada-Buitrago y Frederick, 2005). La roya asiática de la soya se sitúa en el top cien de fitopatógenos más virulentos (Tremblay *et al.*, 2013).

**Cuadro 2.** Características morfológicas de la forma asexual de *P. pachyrhizi* y *P. meibomiae*\*

Características	<i>P. pachyrhizi</i>	<i>P. meibomiae</i>
Uredias	Poco común en la parte adaxial de la hoja, muy común en la parte abaxial, son descoloridas se encuentran dispersas o en grupo.	Poco común en la parte adaxial de la hoja, muy común en la parte abaxial son descoloridas se encuentran dispersos o en grupo.
Uredias	De origen subepidermal, rodeado por paráfisis derivados del pseudoparenquima que los rodea y del himenio.	De origen subepidermal, rodeado por paráfisis derivados del pseudoparenquima que los rodea y del himenio.
Apariencia	Polvosa de coloración canela a pálido-marrón después de la apertura de las uredias	Polvosa de coloración canela a pálido-marrón después de la apertura de las uredias
Paráfisis	Cilíndricos y clavados, apicalmente engrosados de color marrón amarillento pálido a incoloro [25-50 x 6-14(-18) µm].	Cilíndricos y clavados, lateralmente de paredes finas y apicalmente engrosados (10-)15-55(-64) x 6-12 µm.
Uredosporas	Sésiles, obovoide a elipsoide, leve y densamente equinulados, pardo amarillento a incoloro 18-34 x 15-24 µm, paredes uniformes de 1 µm.	Sésiles, obovoide a elipsoide, leve y densamente equinulados, pardo amarillento a incoloro 16-31 x 12-24 µm, paredes uniformes de 1 µm.

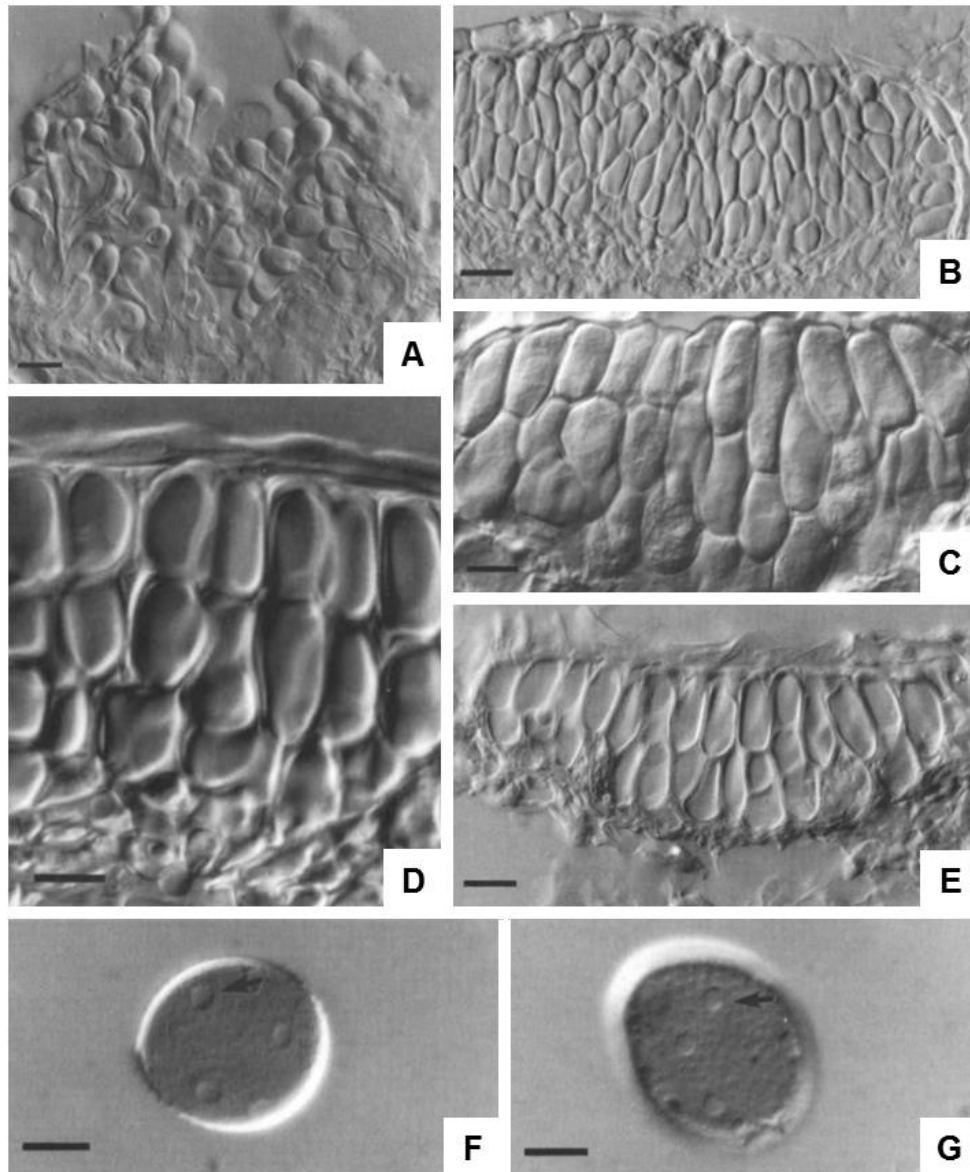
Poros germinativos	(2-) 4-8 (-10) generalmente seis en la zona ecuatorial o dispersos sobre y por encima la zona ecuatorial.	4-8 (-10) dispersos en la zona ecuatorial, a veces sobre y por encima la zona ecuatorial.
--------------------	---	---

\*Ono *et al.*, 1992

**Cuadro 3.** Diferencias morfológicas de la forma sexual de *P. pachyrhizi* y *P. meibomia*\*

Características	<i>P. pachyrhizi</i>	<i>P. meibomia</i>
Telias	En la parte abaxial de la hoja, mezclados con uredias, costrosas, castaño color chocolate de origen subepidermal.	En la parte abaxial de a hoja, mezclados con uredias, costrosas, castaño color chocolate de origen subepidermal.
Teliosporas	De dos a siete capas, unicelulares dispuestas irregularmente, subglobosas angularmente, oblongas a elipsoidales, de color marrón amarillento, con dimensiones de (10-) 15-26 x 6-12 $\mu\text{m}$ paredes uniformes de 1 $\mu\text{m}$ de espesor aproximadamente y ligeramente engrosadas en la parte apical (-3 $\mu\text{m}$ ) en las capas superiores de teliosporas.	Moderadamente pigmentada, dispuestas en filas verticales y pocas capas de teliosporas [1-4 (-5)], son subglobosas angularmente, oblongas a elipsoidales, de color marrón amarillento a castaño claro, con dimensiones de 12-26(-28) x 6-12(-14) $\mu\text{m}$ , de pared gruesa (1.5-2 $\mu\text{m}$ ) engrosadas en la parte apical en las teliosporas superiores (-6 $\mu\text{m}$ ).
Hospedantes naturales	Puede infectar y reproducirse en 31 especies y 17 géneros de leguminosas, los hospedantes principales son: <i>Glycine max</i> , <i>G. soja</i> , <i>Pachyrhizus erosus</i> , <i>Pueraria lobata</i> y <i>Vigna unguiculata</i> .	Puede infectar y reproducirse en 42 especies y 19 géneros de leguminosas, sus hospedantes principales son: <i>Aeschynomeme americana</i> , <i>Crotalaria</i> spp., <i>Desmodium</i> spp., <i>Lablab purpureus</i> , <i>Neotonia wightii</i> , <i>Phaseolus coccineus</i> , <i>P. lunatus</i> y <i>P. vulgaris</i> .
Hospedantes potenciales	60 especies en 26 géneros de leguminosas.	18 especies en 12 géneros de leguminosas.
<b>Hospedantes comunes</b>	24 especies en 19 géneros, de las especies cultivadas cinco son hospedantes naturales comunes de ambas royas ( <i>Crotalaria anagyroides</i> , <i>Glycine max</i> , <i>Pachyrhizus erosus</i> , <i>Phaseolus lunatus</i> y <i>Vigna unguiculata</i> ).	
Distribución geográfica	Norte América, Centro América y el Caribe, Sur América, Asia, África, Europa y Oceanía.	Norte América (México), Centro América y el Caribe, Sur América y Asia.

\*Ono *et al.*, 1992



**Figura 1.** Ono *et al.*, 1992: **A)** Sección longitudinal de una uredia de *P. pachyrhizi* en *Pachyrhizus erosus* de Taiwán, isotipo, PUR-66727. Escala = 13  $\mu$ m. **B)** Sección longitudinal de telia de *P. pachyrhizi* en *Glycine max* de Japón, PUR-79025. Escala = 20  $\mu$ m. **C)** Sección longitudinal de telia de *P. pachyrhizi* en *Glycine max* de China, PUR-80927. Escala = 10  $\mu$ m. **D)** Sección longitudinal de la telia de *P. meibomiae* en *Pachyrhizus erosus* de México, PUR-88336. Escala = 10  $\mu$ m. **E)** Sección longitudinal de la telia de *P. meibomiae* en *Phaseolus lunatus* de Brasil, PUR-66695. Escala = 10  $\mu$ m. **F)** Uredosporas de *P. pachyrhizi* en *Pachyrhizus erosus* de las Filipinas, Pur-66692 [poros germinales (flecha), más o menos dispersos en la zona ecuatorial]. Escala 10  $\mu$ m. **G)** Uredosporas de *P. pachyrhizi* en *Glycine max* de Japón, PUR-79025 (poros germinales, flecha, disseminados. Escala = 10  $\mu$ m.

#### 1.4.2. Clasificación taxonómica de *P. pachyrhizi*

Su clasificación taxonómica es la siguiente (NCBI, 2015b; CABI, 2015).

Super-Reino: Eukaryota

Reino: Fungi

Subreino: Dikarya

Filo: Basidiomycota

Subfilo: Pucciniomycotina

Clase: Pucciniomycetes

Orden: Pucciniales

Familia: Phakopsoraceae

Género: *Phakopsora*

Especie: *P. pachyrhizi*

#### 1.4.3. Hospedantes alternativos de la roya asiática de la soya

*P. pachyrhizi* puede infectar a más de 95 especies de más de 42 géneros de la subfamilia Papilionoideae, generalizando entre especies en las que *P. pachyrhizi* se puede desarrollar al ser inoculado artificialmente y aquellas que infecta naturalmente (Bettgenhaeuser *et al.*, 2014). De forma natural la roya de la soya puede completar su ciclo en 31 especies de 17 géneros de plantas leguminosas (Ono *et al.*, 1992). Estudios recientes agregaron a la lista a 65 especies más de 25 géneros; de los cuáles 12 de estos géneros no habían sido reportados como hospedantes (Slaminko *et al.*, 2008). En México, la roya de la soya se ha reportado en cultivos de soya, jícama y frijol negro (Cárcamo-Rodríguez *et al.*, 2013). Los hospedantes naturales y aquellos que presentan un potencial para el desarrollo de *P. pachyrhizi* (Cuadro 4), juegan un papel importante en la conservación del hongo además de ser fuentes de inóculo de la enfermedad a nivel local, regional e inclusive de países distantes donde se siembre el cultivo de soya (Terán-Vargas *et al.*, 2007).

**Cuadro 4.** Plantas que desarrollaron síntomas de *P. pachyrhizi* por inoculaciones y que representan potenciales hospedantes de la enfermedad\*

Nombre científico	Nombre común	Nombre científico	Nombre común
<i>Alysicarpus glumaceus</i> †	Trébol	<i>Lespedeza bicolor</i>	
<i>Alysicarpus vaginalis</i> †	Trébol	<i>Lespedeza juncea</i>	
<i>Cajanus cajan</i> ¶	Chicharo silvestre	<i>Lotus americana</i>	
<i>Cajanus</i> sp. ¶	Gandú	<i>Lotus major</i>	
<i>Calopogonium ucunoides</i>		<i>Lotus purshianus</i>	
<i>Canavalia gladiata</i>	Frijolillo	<i>Lupinus albus</i>	Lupino blanco
<i>Canavalia marinata</i>	Frijolillo	<i>Lupinus angustifolius</i>	Lupino morado
<i>Cassia occidentales</i>		<i>Lupinus hirsutus</i>	Lupino azul
<i>Centrosema pubescens</i>	Chicharo mariposa	<i>Lupinus luteus</i>	Lupino amarillo
<i>Clitoria ternatea</i>		<i>Lupinus</i> spp. ¶	Lupino o mazorquilla
<i>Coronilla varia</i>		<i>Macroptilium atropurpureum</i>	Frijol morado
<i>Crotalaria anagyroides</i> †¶	Manduvira	<i>Macroptilium bracteatum</i>	Frijol arbustivo
<i>Crotalaria dissaromoensis</i>	Manduvira	<i>Macroptilium lathyroides</i>	Frijol arbustivo
<i>Crotalaria linifolia</i>	Crotalaria	<i>Macroptilium</i> spp.	Frijol silvestre
<i>Crotalaria pallida</i>	Crotalaria	<i>Macroptilium axilare</i>	
<i>Crotalaria</i> ssp.	Cascabelillo	<i>Medicago arborea</i>	Frijol gigante
<i>Crotalaria spectabilis</i>	Crotalaria	<i>Melilotus officinalis</i> ¶	Trébol dulce
<i>Delonis regia</i> †	Flamboyán	<i>Melilotus speciosus</i>	Trébol dulce
<i>Desmodium discolor</i>	Carrapiceo	<i>Mucuna cochinchinensis</i>	Frijol terciopelo
<i>Desmodium hytidophyllum</i>	Carrapiceo	<i>Neonotonia wrightii</i> †	Soya perenne
<i>Desmodium</i> spp. ¶	Carrapiceo	<i>Pachyrhizus erosus</i>	Jícama
<i>Desmodium triflorum</i> †	Carrapiceo	<i>Phaseolus coccineus</i>	Ayocote
<i>Desmodium varians</i>	Carrapiceo	<i>Phaseolus lunatus</i> ¶	Frijol lima
<i>Dolichos axillaris</i>		<i>Phaseolus</i> spp.	Frijolillo
<i>Glycine argyrea</i>	Soya	<i>Phaseolus vulgaris</i> ¶	Frijol común
<i>Glycine canascens</i>	Soya	<i>Pisum sativum</i>	Chícharo
<i>Glycine clandestina</i> ✓	Soya	<i>Psophocarpus tetragonolobus</i>	
<i>Glycine curvata</i>	Soya	<i>Psoralea tenax</i>	
<i>Glycine cyrtoloba</i>	Soya	<i>Pueraria phaseoloides</i> * ✓	Kudzu tropical
<i>Glycine falcata</i>	Soya	<i>Pueraria lobata</i> ✓	Kudzu
<i>Glycine latifolia</i>	Soya	<i>Rhynchosia minima</i>	
<i>Glycine latrobeana</i>	Soya	<i>Sesbania exaltata</i> ✓	Sesbania
<i>Glycine max</i> ✓	Soya	<i>Sesbania sericea</i>	Sesbania

†Especies utilizadas comercialmente como forraje.

\*Terán-Vargas *et al.*, 2007,



**Cuadro 4, ... continuación**

Nombre científico	Nombre común	Nombre científico	Nombre común
<i>Glycine microphylla</i>	Soya	<i>Sesbania vesicaria</i> ✓	Sesbania
<i>Glycine soja</i>	Soya	<i>Teramnus uncinatus</i>	
<i>Glycine</i> spp.	Soya	<i>Trifolium incamatum</i>	Trébol
<i>Glycine tabacina</i>	Soya	<i>Trifolium repens</i> ✓	Trébol blanco
<i>Glycine tomentella</i>	Soya	<i>Trigonella foenumgraecum</i>	Fenugreco
<i>Hardenbergi violacea</i>		<i>Vicia desycarpa</i>	Vaina morada
<i>Kennedia coccinea</i>	Chicharo mariposa	<i>Vicia faba</i>	Haba
<i>Kennedia prostrata</i>		<i>Vigna luteola</i>	
<i>Kennedia rubicunta</i>		<i>Vigna mungo</i>	
<i>Kennedia</i> spp.		<i>Vigna radiata</i>	
<i>Kummerowia stipulacea</i>		<i>Vigna</i> spp.	
<i>Kummerowia striata</i>		<i>Vigna unguiculata</i>	Caupi o sarabando
<i>Lablab purpureus</i> *	Frijol Jacinto		

† Especies utilizadas comercialmente como forraje.

\*Terán-Vargas *et al.*, 2007.

✓Especies presentes en México.

#### 1.4.4. Factores que intervienen en la biología de *P. pachyrhizi* y su epidemiología

Todo comienza con el acarreo del inóculo de la roya asiática de la soya por el viento, y su presencia en el aire como partícula biológica es estudiada por la Aerobiología (Lacey, 1996), puede provenir de campos cercanos o lejanos (Natti, 1971) y pueden causar las infecciones iniciales en siembras de primavera y de otoño. También conocidas como infecciones primarias y son ocasionadas por el inóculo primario, que darán origen a un nuevo inóculo en el cultivo denominado inóculo secundario, ocasionando así las infecciones secundarias (Agrios, 2005).

El movimiento a larga distancia de *P. pachyrhizi* probablemente se asocia a tormentas naturales, que con la nubosidad fungen como protectores de las uredosporas, debido a la sensibilidad que presentan a la radiación ultravioleta. Es la única de las royas que cuenta con una amplia gama de hospedantes y al igual que otras royas, requiere de condiciones ambientales que le permitan desarrollarse y cumplir su ciclo biológico (Rupe y Sconyers, 2008). Con un patrón de

clima favorable durante el ciclo del cultivo podría causar un impacto económico significativo (Edwards y Bonde, 2011). De lo contrario, condiciones climáticas desfavorables para propagación y desarrollo del patógeno reducen el impacto que podría tener el hongo en condiciones propicias, probablemente a ello se debe que en Estados Unidos no ocurrieran pérdidas en el rendimiento como se pronosticaba para el año 2005; aunado a la baja disponibilidad del inóculo y a las condiciones secas que predominaron durante el 2006, reduciendo el potencial epidémico de la roya (Christiano y Scherm, 2007). Para que las uredosporas germinen tienen que coincidir rangos de temperatura, humedad relativa y condiciones de radiación solar; y de igual manera estas condiciones deben predominar durante el movimiento del inóculo a largas distancias cuya viabilidad dependerá de estos factores y la edad del inóculo (Isard *et al.*, 2006). Las epidemias más explosivas y graves se han reportado con temperaturas cálidas y abundante humedad (del Ponte *et al.*, 2006). El rocío y las fechas de siembra son otros de los factores importantes (Pivonia y Yang, 2006). El genotipo de la planta y la fenología pueden definir la intensidad de la enfermedad. *P. pachyrhizi* al ser inoculado en dos variedades de soya: Toita Kaohsiung un cultivar comercial, y SRE-B15-A un genotipo tolerante, en estados reproductivos R1 y R6, presento una variación en el área foliar infectado de 95 % en el cultivar comercial y de 34 % en el cultivar tolerante al ser inoculados en R6, en tanto, en las inoculaciones realizadas en R1, la variedad comercial presento una reducción en el peso de la semilla de 62 % contra un 35 % de la variedad tolerante (Hartman *et al.*, 1991). Las asociaciones entre el clima y las epidemias causadas por la roya de la soya están limitados a lugares específicos (Christiano y Scherm, 2007). Las condiciones meteorológicas y ambientales son componentes críticos que pueden afectar a *P. pachyrhizi* desde la liberación del inóculo y el desarrollo de la roya asiática, en términos generales afectan su ciclo biológico y comprometen la dispersión del inóculo, su deposición, su eficiencia, el periodo latente y la producción misma de uredosporas; la parte epidémica también se relaciona con el distancia que existe entre el dosel de las plantas, y el espaciado mismo del cultivo condiciona la liberación del inoculo a la atmosfera (del Ponte y Esker, 2008).

La roya de la soya se puede presentar desde las etapas vegetativas, comúnmente antes o durante la floración y llenado del grano (Rupe y Sconyers, 2008). Las uredosporas comienzan a germinar con un mínimo de 6 h de rocío y temperaturas de 18 a 26.5°C, las lesiones se

intensifican cuando las horas de rocío son mayores a las 8 h (Melching *et al.*, 1989). La infección natural se ve favorecida con temperaturas de 15 a 29°C, con un rango de temperatura diaria de 11 a 12°C y una humedad relativa del 85% que promueve el desarrollo de la enfermedad (Levy, 2005). Estudios recientes sobre cuatro aislados de *P. pachyrhizi* provenientes de Brasil, Hawái, Taiwán y Zimbabue; se les comparo para observar el efecto de la temperatura sobre la germinación de las uredosporas, desarrollo del tubo infectivo e inicio de la infección. Todos los aislados reaccionaron de forma similar y la temperatura óptima para los procesos mencionados vario de 17 a 28 °C a pesar de que los aislados fueron recogidos en un periodo de 25 años (Bonde *et al.*, 2006). Efectos negativos se observan al someter las uredosporas a temperaturas 28.5 a 42.5 °C (germinación se reduce) mientras que en las condiciones óptimas de 17 y 27°C se observaron en un corto tiempo (Kochman, 1979). En la zona sur de Tamaulipas la enfermedad se ha presentado a temperaturas de 11 a 28°C con humedad relativa igual o mayor al 65 % (Terán-Vargas *et al.*, 2007).

#### **1.4.5. Biología de *P. pachyrhizi***

Los ciclos de las royas son muy complejas, involucran varios tipos de esporas que desarrollan durante su reproducción sexual y asexual; y para la roya de la soya se desconoce información detallada sobre su estado sexual (Goellner *et al.*, 2010). En México, el único reporte que se tiene de estructuras de reproducción sexual se observaron en muestras de Jícama provenientes del estado Guanajuato en 2013; sin embargo, es difícil encontrarlo de forma natural en sus hospedantes (Hernández-Hernández *et al.*, 2014). Por lo que solo se describirá la reproducción asexual.

Una vez que las uredosporas son arrastradas por el viento tienden a caer y depositarse posiblemente sobre la superficie del haz (no especificado en literatura) de la hoja del hospedante. Al existir las condiciones óptimas de desarrollo, las uredosporas comienzan a germinar desarrollando el tubo germinal que dará origen a los apresorios en la superficie foliar; posteriormente se forman hifas de penetración directa (es decir no inician el proceso de infección a través de las aperturas estomáticas) e invaden el espacio intracelular del hospedante ocurriendo la penetración dentro de las primeras 24 h y observándose una decoloración parda,

desorganización y muerte celular epidermal (Tremblay *et al.*, 2013; Bettgenhaeuser *et al.*, 2014; Keogh *et al.*, 1980).

Para penetrar la cutícula de la superficie de la hoja, utiliza principalmente fuerza mecánica y probablemente requiera de enzimas degradadoras (Edwards y Bonde, 2011); el proceso continua a través del espacio intracelular como una hifa primaria; a las 48 h después de la deposición de la uredospora en la superficie foliar la hifa primaria comienza a ramificarse, generalmente de dos a tres hifas secundarias (Keogh *et al.*, 1980). Para una posterior diferenciación de las células que darán origen a los haustorios primarios que se originaran sobre aquellas hifas que hicieron contacto con las células del mesofilo, en este momento el hongo expresara su potencial infectivo; al sexto día después de la inoculación las células en empalizada del mesofilo en contacto con las hifas del hongo comienzan a mancharse (Deverall *et al.*, 1977). La germinación de las uredosporas se pueden producir tanto en hojas de plantas hospedantes, como en plantas no hospedantes en los que la penetración puede o no existir, en caso de existir, a menudo su desarrollo no tiene éxito (Loehrer *et al.*, 2008; Hoefle *et al.*, 2009).

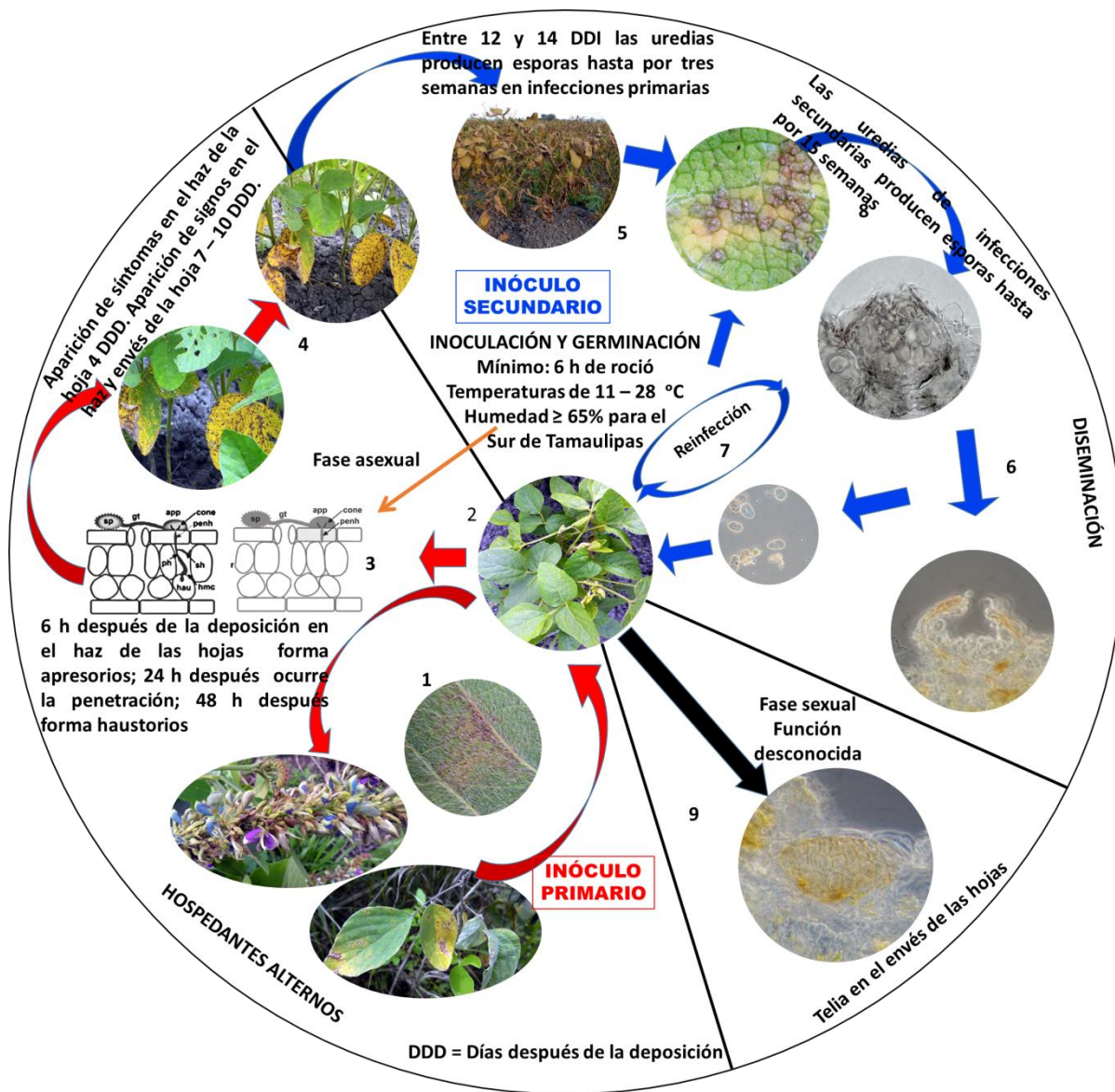
#### **1.4.5.1. Síntomas de la roya asiática de la soya**

Los síntomas visibles comienzan a aparecer en el haz de las hojas inferiores como pequeñas lesiones irregulares de color café-amarillento a café-rojizo u oscuro al séptimo día después de la inoculación. Ocurre poco antes de la floración de la planta o llenado del grano; generalmente se localiza en hojas del tercio inferior de la planta como consecuencia de una mayor humedad y baja luminosidad, en los que se observan lesiones de 1-5 mm en el haz de las hojas, la enfermedad avanza de forma ascendente sobre la planta y con el tiempo las hojas se tornan amarillentas debido a las infecciones múltiples (Keogh *et al.*, 1980; Terán-Vargas *et al.*, 2007; Rupe y Sconyers, 2008).

#### **1.4.5.2. Signos de la roya asiática de la soya**

Entre ocho y diez días después de la deposición de las uredosporas en la superficie de las hojas del hospedante, las lesiones se manifiestan como pústulas pequeñas de color marrón, estas pústulas denominadas uredias son globosas y sobresalientes, dispersas o en grupo formando áreas rectangulares delimitadas por nervaduras; estas aparecen en peciolos, tallos y vainas,

aunque son más abundantes en las hojas, sobre todo en el envés (Ploper y Devani, 2002; Miles *et al.*, 2003; Rupe y Sconyers, 2008). De esta forma, nuevas uredosporas se producen dentro de uredias y dos a cuatro días más tarde las uredias liberan las uredosporas a través de un poro central formando una masa de uredosporas sobre y alrededor de la uredia, la esporulación generalizada de las uredias comienza a los 14 días (Keogh *et al.*, 1980; Ploper y Devani, 2002; Tremblay *et al.*, 2013); con esto finaliza el ciclo, sin embargo la roya de la soya es policíclica y a partir del inóculo primario se origina el inóculo secundario que infecta a la misma planta dentro del mismo cultivo (Figura 2) (Miles *et al.*, 2003). La producción de uredosporas puede prolongarse hasta tres semanas a partir de la generación de la primera uredia pero, uredias secundarias pueden mantener la esporulación hasta por 15 semanas (Marchetti *et al.*, 1975). Mientras que las uredosporas pueden permanecer viables hasta por 50 días, por lo que pueden dispersarse a grandes distancias (Ploper y Devani, 2002).



**Figura 2.** Ciclo biológico de *P. pachyrhizi* de acuerdo a Deveral *et al.* (1977); Keogh *et al.* (1980); Miles *et al.* (2003); Terán-Vargas *et al.* (2007); Rupe y Sconyers (2008); Edwards y Bonde (2011); Tremblay *et al.* (2013); Bettgenhaeuser *et al.* (2014); Sikora *et al.* (2014), y con adaptaciones de Victorino Santiago Pérez (2016; no publicado).

#### 1.4.6. *P. pachyrhizi*: dispersión y pérdidas que ocasiona en el rendimiento

La roya asiática es una enfermedad devastadora, generando grandes pérdidas en el rendimiento. Este patógeno se ha extendido a nivel mundial, encontrándose en todas las regiones que cultivan soya (Anderson *et al.*, 2008) (Cuadro 5).

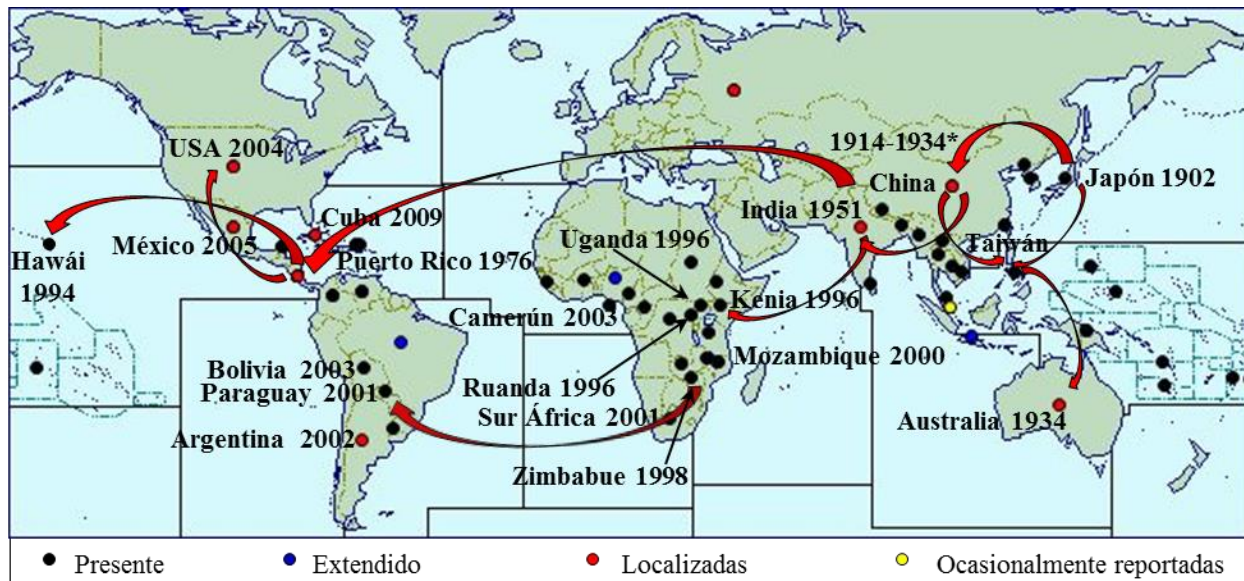
**Cuadro 5.** Distribución geográfica de *P. pachyrhizi* y con principales países ubicados en Figura 3\*

<b>AÑO</b>	<b>CONTINENTE</b>	<b>PAÍS</b>	<b>Pérdidas en el rendimiento en % - (a miles de t - año)</b>
<b>1902</b>	Asia	Japón China India Taiwán	50 - (6,368.9 - 2006) 100 - (78.4 - 2006)
<b>1976</b> <b>1994</b> <b>2001</b>	América	Puerto Rico. USA (Hawái) Paraguay	60 - 2001, 90 - (2,200,000 2003) y (1.9 - 2006)
<b>2002</b>		Argentina	(45.3 - 2006)
<b>2003</b>		Bolivia	65 - 2003, 27 - 2004/2005, 53 - 2005/2006, 40 - 2006/2007 y [2000 (2006)]
		Brasil	60 - (4,720 - 2006)
<b>2004</b>		USA: Florida, Alabama, Arkansas, Delaware, Georgia, Iowa, Illinois, Indiana, Kansas, Kentucky, Luisiana, Maryland, Michigan, Minnesota, Missouri, Carolina del Norte, Dakota del Norte, Nebraska, Ohio, Oklahoma, Pensilvania, Carolina del Sur, Dakota del Sur, Tennessee, Virginia, Wisconsin.	(24, 521.16 - 2006) (14, 968.52 - 2007) (5, 987.41 - 2008) (78, 652.79 - 2009) En todos los estados a excepción de Mississippi.
<b>2005</b>		México (Ébano y Tamuín, S. L. P. y Altamira, Tam.)	
<b>2009</b>		Cuba	
<b>2012</b>		Costa Rica	
<b>1996</b>	África	Uganda	36
<b>1996</b>		Kenia	
<b>1996</b>		Ruanda	
<b>1998</b>		Zimbabue	
<b>1998</b>		Zambia	
<b>2000</b>		Mozambique	
<b>2001</b>		Sur África	
<b>2003</b>		Camerún (Oeste)	
<b>1934</b>	Oceanía	Australia	

\*De acuerdo a Vakili y Bromfield (1976); Bromfield y Hartwin (1980); Killgore *et al.* (1994); Kawuki *et al.* (2003); Miles *et al.* (2003); Rossi (2003); Levy (2005); Schneider *et al.* (2005); Cárcamo-Rodríguez *et al.* (2006); Terán-Vargas *et al.* (2007); Goellner *et al.* (2010); Koenning (2007); Koenning y Wrather *et al.* (2010); Pérez-Vicente *et al.* (2010); Wrather *et al.* (2010) y Murillo-Williams (2015).

En México se reportó en el 2005 (Figura 3) en los estados de San Luis Potosí y Tamaulipas (Cárcamo-Rodríguez *et al.*, 2006). Posteriormente avanzó a Veracruz, Campeche y Yucatán en la vertiente del Golfo de México, y Chiapas en la costa del pacífico; aumentando las detecciones a inicios del 2013 a los estados de Sinaloa, Nayarit y Guerrero. A finales del año la

presencia de la roya asiática fue reportada en Morelos y Guanajuato (Hernández-Hernández *et al.*, 2014). En general afectando a tres cultivos de importancia económica en el país (Cuadro 6).



**Figura 3.** CABI (2015): mapa de dispersión de la roya asiática de la soya a nivel mundial desde su origen en Japón en 1902 hasta su llegada al continente Americano, y en específico en México en 2005.

**Cuadro 6.** Distribución de la roya de la soya en México\*

Año	Estado	Cultivo	Referencia
2005	San Luis Potosí (Tamuín y Ébano)	1.- Soya (variedad H-400)	(Cárcamo-Rodríguez <i>et al.</i> , 2006; Terán-Vargas <i>et al.</i> , 2007; Cárcamo-Rodríguez <i>et al.</i> , 2013)
	Tamaulipas (Ejido 3 de Mayo, Municipio de Altamira)	Soya (variedad H-200)	
2006/2007	Veracruz (Municipio de Papantla)	2.- Jícama <sup>†</sup>	(Yáñez-Morales <i>et al.</i> , 2009; Cárcamo-Rodríguez <i>et al.</i> , 2013; Hernández-Hernández <i>et al.</i> , 2014)
2008	Chiapas	Soya	
2009	Tamaulipas	Plantas silvestres	
2009	Campeche	Soya	
2012	Tamaulipas	3.- Frijol Negro (Variedad Jamapa)	
2013	Guerrero	Frijol y jícama <sup>✓</sup>	
	Nayarit	Frijol y jícama <sup>✓</sup>	
	Sinaloa	Frijol <sup>✓</sup>	
	Guanajuato	Jícama	
	Morelos	Jícama	

<sup>✓</sup> No especifica cultivo con roya asiática de la soya. \* SIAP, 2014. <sup>†</sup> 1800 ha dañadas.

Por lo que gran parte de estos cultivos están en riesgo. La roya de la soya ha sido detectada en los estados que generan el 95.39, 40.61 y el 72.34 % de la producción nacional de grano de soya, jícama y frijol (Cuadro 7). Por otra parte, también se encuentra en riesgo la



producción nacional del cultivo de cacahuate de riego y de temporal en los estados donde se encuentra presente la roya asiática y la Península de Yucatán con una detección de roya cercana a este sitio (Cuadro 8).

**Cuadro 7.** Cierre anual de la producción agrícola 2013 por cultivo a nivel estado y nacional\*

Estados	Superficie cosechada ha	Producción t	Producción (miles de pesos)	Superficie cosechada nacional ha (%) <sup>+</sup>	Producción nacional t (%) <sup>†</sup>	Producción nacional en miles de pesos (%) <sup>✓</sup>
<b>Soya</b>				196,702.67 (95.65)	366,651.49 (94.65)	1,997,075.40 (95.39)
Campeche	30,365.94	60,601.87	314,935.72			
Chiapas	13,010.50	24,567.40	128,614.75			
S. L. P.	36,557.00	67,110.69	375,819.86			
Tamaulipas	98,652.23	180,281.29	971,450.05			
Veracruz	16,028.00	30,453.20	185,764.52			
Yucatán	2,089.00	3,637.04	20,490.50			
<b>Frijol</b>				541,417.90 (32.21)	436,686.12 (34.27)	4,505,952.93 (40.61)
Campeche	2,979.50	1,965.16	27,056.77			
Chiapas	114,605.00	61,412.08	699,881.70			
Guanajuato	79,897.75	57,023.82	403,926.29			
Guerrero	15,835.65	12,387.93	139,019.51			
Morelos	1,307.72	1,455.32	12,049.44			
Nayarit	52,980.60	54,756.49	503,880.19			
S. L. P.	2,572.64	2,192.33	23,732.18			
Sinaloa	114,322.40	59,818.46	383,029.16			
Tamaulipas	120,721.44	161,520.45	2,029,656.56			
Veracruz	35,647.00	24,077.07	283,237.92			
Yucatán	548.2	77.01	483.21			
<b>Jícama</b>				6,939.10 (73.78)	179,453.34 (76.98)	475,249.39 (72.34)
Campeche	40	417	3,076.50			
Guanajuato	559	15,750.00	38,641.63			
Guerrero	322	9,736.23	30,336.00			
Morelos	873.13	28,748.51	172,039.78			
Nayarit	2,130.70	64,222.22	140,365.16			
S. L. P.	21	462	1,218.00			
Veracruz	75	422.02	1,160.56			
Yucatán	1,034.00	23,729.50	39,972.71			

\* Representa el porcentaje correspondiente del total de la superficie nacional sembrada.

\*SIAP, 2014

<sup>†</sup>Representa el porcentaje correspondiente del total de la producción nacional.

<sup>✓</sup>Representa el porcentaje correspondiente del total de la producción nacional.

**Cuadro 8.** Producción nacional del cacahuete en riesgo, por la presencia de la roya asiática de la soya \*

Estados	Superficie cosechada ha	Producción t	Producción (miles de pesos)	Superficie cosechada nacional ha (%) <sup>+</sup>	Producción nacional t (%) <sup>¶</sup>	Producción nacional en miles de pesos (%) <sup>✓</sup>
				36,261.81 (61.43)	54,932.21 (57.01)	542,951.2 (59.54)
Campeche	473	547.5	9,130.20			
Chiapas	6,581.00	12,015.63	126,254.91			
Guanajuato	898	2,116.50	15,403.89			
Guerrero	2,637.50	4,541.33	55,470.55			
Morelos	965.11	1,933.68	16,517.49			
Nayarit	823.5	1,441.19	20,342.96			
San Luis Potosí	3,360.00	3,787.80	38,697.20			
Sinaloa	19,672.60	27,638.76	249,135.24			
Tamaulipas	265.6	220.43	3,768.31			
Veracruz	553.5	631.84	7,664.99			
Yucatán	32	57.55	565.46			

<sup>+</sup> Representa el porcentaje correspondiente del total de la superficie nacional sembrada.

\*SIAP, 2014

<sup>¶</sup> Representa el porcentaje correspondiente del total de la producción nacional.

<sup>✓</sup> Representa el porcentaje correspondiente del total de la producción nacional.

### 1.4.7. Manejo de la roya asiática de la soya

Existen tres formas que pueden reducir el impacto de la roya asiática de la soya. El primero y de mayor uso es el control químico con la aplicación de fungicidas, el segundo es la resistencia genética, y finalmente no menos importante son las prácticas culturales (Rupe y Sconyers, 2008).

#### 1.4.7.1. Control químico

Los más empleados son los fungicidas. Se ha recomendado el uso de estrobilurinas y triazoles, su eficacia depende de un cuidadoso y continuo muestreo en campo además de la aplicación puntual del fungicida, estos son de carácter preventivo y curativo (Yorinori *et al.*, 2005). Un ejemplo de ello, es el monitoreo de la enfermedad; como el establecido en los Estados Unidos, permitiendo una pronta respuesta de los agricultores en el combate de la roya asiática, por la aplicación de fungicidas disminuyendo la severidad de la roya asiática. Los triazoles y la combinación de este fungicida con estrobilurinas reducen la severidad de la enfermedad en los

cultivos de soya; sin embargo, a pesar de estas acciones la propagación de *P. pachyrhizi* en este país ha aumentado en los últimos años (Miles *et al.*, 2007; Tremblay *et al.*, 2013).

En estudios realizados por Miles *et al.* (2007), para probar la eficacia de diversos fungicidas sobre *P. pachyrhizi* en tres temporadas (del 2002 a 2005) y en 12 ambientes diferentes de América del sur y África meridional, encontraron que las aplicaciones de triazol, y triazol + estrobilurin en cultivos de soya resultaron con un daño menor y con los rendimientos más altos. Por otra parte (Hartman *et al.*, 1991) encontraron que en plantas no tratadas con fungicidas las pústulas de la roya son visibles a los 10 a 14 días después de la inoculación con respecto a las plantas tratadas con fungicidas.

En trabajos realizados por Soares *et al.* (2004) evaluaron el efecto de diversos fungicidas sobre el desarrollo de *P. pachyrhizi* donde los fungicidas como:

azoxistrobin,  
difenoconazole + propioconazole,  
fluquiconazole,  
myclobutanil,  
pyraclostrobin + epoxiconazole,  
tebuconazole, y  
trifloxistrobina + propiconazole

controlaron el patógeno en relación al testigo con severidades menores o iguales a dos, en una escala de cero a cinco, en los que los tratamientos mostraron rendimientos superiores al testigo, y fueron del 14.5 al 27.3 %. Sin embargo, el éxito de dichas aplicaciones de fungicidas, dependerá de determinar el momento idóneo para la aplicación de los productos (Terán-Vargas *et al.* 2007).

En México se han recomendado el uso de productos del grupo de los triazoles tales como cyproconazole, tebuconazole, epoxiconazole y flutriafol del grupo de las estrobilurinas, productos que contengan azoxystrobin y pyraclostrobin como ingrediente activo, y mezclas de ambos grupos como sigue (Terán-Vargas y García-Salazar, 2009):

epoxiconazole + pyraclostrobin,  
cyproconazole + azoxystrobin,  
flutriafol + azoxystrobin, y  
flutriafol + pyraclostrobin

Se recomiendan aplicaciones preventivas del grupo de las estrobilurinas cuando las condiciones del medio ambientales favorezcan el desarrollo de *P. pachyrhizi*. Una vez detectada la enfermedad es recomendable la aplicación de una mezcla de un fungicida preventivo con un curativo (estrobilurinas + triazoles).

En caso de ser necesario realizar una segunda aplicación de un triazol a los 25 días después de la primera aplicación asegurando así el periodo de llenado de vaina. Estas aplicaciones se realizan al observar los primeros síntomas de la enfermedad y cuando el daño no sea mayor al 10 % en las plantas (Terán-Vargas *et al.*, 2007). Sin embargo en forma comercial, hay que considerar que “difícilmente lo paga el rendimiento del cultivo que es de temporal”.

El uso de fungicidas ha sido la mejor alternativa para el control de la roya asiática en la soya, y para lograr un buen control se requiere de una detección temprana y una aplicación correcta y oportuna del fungicida (Terán-Vargas y García-Salazar, 2009).

Por otra parte, en estudios experimentales realizados por Terán-Vargas *et al.* (2010) indican que la aplicación preventiva de fungicidas como epoxiconazole 25 g ia/ha + azoxystrobin 75 g ia/ha para el control de la roya asiática de la soya, incrementan la producción del cultivo en un 262 % con rendimientos de 2.2 y 2.4 t/ha con respecto al testigo cuyo rendimiento fue de 875 kg/ha durante el ciclo primavera-verano 2010, con costos de \$ 714.40 para el control de *P. pachyrhizi* con fungicidas, y solo son costeables cuando mucho con dos aplicaciones durante el ciclo del cultivo (Terán-Vargas *et al.*, 2007). “Aunque estricta asesoría oficial es requerida para justificar la redituabilidad de la aplicación en cultivos de temporal”.

De acuerdo con Maldonado (2013) los costos de producción de grano de soya por ha ascienden a \$ 1,587.00 mientras que el precio del grano por t es alrededor de \$ 6,000.00. Considerando el rendimiento promedio del grano de soya (1,500 kg/ha) en el sur de Tamaulipas se tendría un ingreso bruto de \$ 9000.00/ha. Lo que al restarle los costos directos e indirectos de producción se tendría una utilidad estimada de \$ 2,500.00/ha, además de los estímulos económicos que otorga el gobierno federal por t/grano producido. Sin embargo los costos de producción pueden llegar hasta los \$ 8,718.00/ha; por lo que la siembra de esta oleaginosa es rentable cuando los

rendimientos son > 1,600 kg/ha. Por lo que en teoría-experimental, la aplicación preventiva de fungicidas contra la roya asiática de la soya se justifica por su efecto en el rendimiento del cultivo (Terán-Vargas, 2010). “Aunque debe considerarse que es un cultivo de temporal que además de la roya, es afectado por otras enfermedades e insectos”.

#### **1.4.7.2. Mejoramiento genético en soya**

Lograr la resistencia genética a la roya asiática es la mejor estrategia a largo plazo para reducir los daños causados por este patógeno (Pham *et al.*, 2009) y una de las limitantes más importantes en el mejoramiento genético de la soya para el desarrollo de resistencia contra *P. pachyrhizi* es la diversidad de virulencia que han mostrado las poblaciones de este patógeno (Paul *et al.*, 2015); y que en estudios realizados confirmaron la existencia de siete grupos de virulencia en 24 poblaciones de Estados Unidos colectados en 2007 y 2008, identificando 10 genotipos de soya resistentes a la roya. En Japón se identificaron seis razas de *P. pachyrhizi* aislados de 26 lesiones individuales en nueve muestras de soya y una muestra de Kudzu (*Pueraria lobata*) de los cuales las seis razas se encontraron en muestras de soya mientras que en Kudzu solo se encontraron cuatro razas, lo que significa que dos o más razas pueden estar presentes en un mismo cultivar de soya y que son compartidas con Kudzu y otros hospedantes (Yamaoka *et al.*, 2014). Así confirmar la diversidad patogénica de poblaciones de *P. pachyrhizi* en una región son necesarias para la identificación de nuevos germoplasmas de soya con resistencia a la roya asiática. Así se identificaron cuatro genes de resistencia a la roya asiática: *Rpp1*, *Rpp2*, *Rpp3* y *Rpp4* (Pham *et al.*, 2009). En Vietnam se ha recurrido al mejoramiento molecular por el uso de marcadores moleculares en un programa de mejoramiento genético de introgresión vía retrocruzamiento del gen de la resistencia *Rpp5* en una variedad Vietnamita HL203 a partir de dos líneas donantes: DT2000 y Stuart 9908B-28 (Khanh *et al.*, 2013). En Paraguay se identificó resistencia genética en una variedad de soya PI 567102B y demostró su resistencia a poblaciones *P. pachyrhizi* de Alabama, Florida, Georgia, Louisiana, Mississippi, Sur de Carolina y Texas en Estados Unidos; y su resistencia se le confiere a un solo gen dominante al que proponen denominar *Rpp6* (Li *et al.*, 2012). Recientemente se han identificado genes de resistencia *Rpp1* en variedades locales de soya en Brasil PI594767A y PI 587905 así

como el gen de resistencia *Rpp3* en la Variedad P!416764. Estos cultivares de soya elite son útiles contra las poblaciones de *P. pachyrhizi* del sur de América (Hossain *et al.*, 2015).

En México las variedades comerciales que se cultivan comúnmente han mostrado susceptibilidad a la roya asiática. Peña-del-Río *et al.* (2014) identificaron 23 genotipos de soya [L85-2378, PI 230970, AkiSengoku (Kyushu 11), Kyushu 21, PI 417125, Kyushu 37, Kyushu 56, Tamahikari, Gakuran Daizu, Kumaji 2, Kuro Chouhin 14, Kyushu 43, Ba yue bao, PI 567024, PI 567025 A, PI 567123 A, Gogaku, PI 605891 B, Kuro Daizu A, Kuro Daizu B, A9, PI 567058 D y PI 567104 B) con resistencia a *P. pachyrhizi*. Genotipos que no exhibieron lesiones foliares en condiciones de campo en General Terán del estado de Nuevo León (aunque no se siembra soya en ese estado) y que pueden ser usados para evaluarse en el sur de Tamaulipas.

### 1.4.7.3. Control cultural

En cuanto al control cultural en México, comprende desde:

Siembras: Primavera-Verano

1. Preparación del terreno. Es recomendable nivelar o emparejar el terreno lo mejor posible para evitar encharcamientos que incrementen la humedad generando microclimas a nivel del dosel del cultivo que propicien o favorezcan el desarrollo de la enfermedad. Por ello, es importante que la preparación del terreno se realice antes del 10 de junio, para sembrar entre el 15 de junio y 20 de julio, evitando que el periodo de llenado de grano (R4 a R7) coincida con el periodo crítico de condiciones óptimas para la roya.
2. Variedades. Sembrar primeramente las variedades de ciclo largo, y posteriormente las de ciclo corto (Huasteca 200, Huasteca 300, Huasteca 100 y Huasteca 400);
3. Utilizar surcos de 76 a 80 cm de separación;
4. Establecer alrededor de 200 mil plantas/ha en Huasteca 200 y 250 mil plantas/ha para las variedades Huasteca 100, 300 y 400 (Terán-Vargas *et al.*, 2007).
5. Esto aunado a un control legal.
6. Para los productores que decidan sembrar después del 20 de julio deberá firmar una carta responsiva y sujetarse a lo establecido en la misma.

## Siembras: Otoño-Invierno

1. Para siembras de otoño-invierno además de la carta responsiva, se realizara el control químico necesario con un mínimo de tres aplicaciones. “no lo paga el rendimiento del cultivo”.
2. Es necesario evitar siembras de ciclos otoño-invierno.
3. Destruir nacencias de soya y las leguminosas hospedantes después de la cosecha del ciclo primavera-verano (Ascencio-Luciano y Maldonado-Moreno, 2006).

## **Aerobiología**

En el sur de Tamaulipas anualmente se presenta el fenómeno de vientos fuertes denominados “nortes”. La región es una zona de transición clasificada de Semiárida-subhúmeda a Calida-subhúmeda con vientos polares del Norte (a través de Canadá y Estados Unidos), de ahí que toma el nombre de “nortes”. Estos fuertes vientos se presentan durante los meses desde inicio del Otoño (finales de Sep.) hasta finales del Invierno (Marzo). Son vientos fuertes e intensos que a través del Noreste invaden cada año gran parte de las costas del Golfo de México (<http://www1.inecol.edu.mx/costasustentable/esp/pdfs/Publicaciones/Dunas/Climas.pdf>) y donde se ubica el sur de Tamaulipas de este estudio y así, estos vientos en Aerobiología, tienen directa relación con la dispersión de esporas lo que motiva la conducción del estudio.

## **1.5. LITERATURA CITADA**

Agrios, N. G. 2005. Plant Pathology. 5<sup>th</sup> Ed. Elsevier Academic Press. San Diego, CA, USA. 922 p.

Anderson, S. J., C. L. Stone, M. L. Posada-Buitrago, J. L. Boore, B. A. Neelam, R. M. Stephens, D. G. Luster, R. D. Frederick, and K. F. Pedley. 2008. Development of simple sequence repeat markers for the soybean rust fungus, *Phakopsora pachyrhizi*. Mol. Ecol. Resour. 8:1310–1312.

Ascencio-Luciano, G., y N. Maldonado-Moreno. 2006. Manejo de la roya asiática *Phakopsora pachyrhizi* en soya en la planicie huasteca. Desplegable para productores No. 2. Campo Experimental Sur de Tamaulipas. CIRNE-INIFAP. Cuauhtémoc, Tam., México. 2 p.

- Bettgenhaeuser, J., B. Gilbert, M. Ayliffe, and M. J. Moscou. 2014. Nonhost resistance to rust pathogens - a continuation of continua. *Front. Plant Sci.* 5:1-15.
- Bonde, M. R., S. E. Nester, C. N. Austin, C. L. Stone, R. D. Frederick, G. L. Hartman, and M. R. Miles. 2006. Evaluation of virulence of *Phakopsora pachyrhizi* and *P. meibomia* isolates. *Plant Dis.* 90:708–716.
- Bromfield, K. R., and E. E. Hartwing. 1980. Resistance to soybean rust and mode of inheritance. *Crop Sci.* 20:254-255.
- CABI. 2015. *Phakopsora pachyrhizi* (soybean rust). Available at: <http://www.cabi.org/isc/datasheet/40019> [Accessed April 10, 2015].
- Cárcamo-Rodríguez, A., J. A. Rios, and J. R. Hernández. 2006. First report of asian soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* from Mexico. *Plant Dis.* 90:1260–1260.
- Cárcamo-Rodríguez, A., A. R. Solano-Báez, E. Maldonado-Cruz, y P. García-Zalazar. 2013. Primer reporte de la roya asiática de la soya (*Phakopsora pachyrhizi*) en frijol negro en Altamira, Tamaulipas, México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 31:S99.
- Choi, J. J., N. W. Alkharouf, K. T. Schneider, B. F. Matthews, and R. D. Frederick. 2008. Expression patterns in soybean resistant to *Phakopsora pachyrhizi* reveal the importance of peroxidases and lipoxygenases. *Funct. Integr. Genomics.* 8:341–359.
- Christiano, R. S. C., and H. Scherm. 2007. Quantitative aspects of the spread of asian soybean rust in the southeastern United States, 2005 to 2006. *Phytopathology* 97:1428–1433.
- del Ponte, E. M., and P. D. Esker. 2008. Meteorological factors and asian soybean rust epidemics: a systems approach and implications for risk assessment. *Sci. Agric.* 65:88–97.
- del Ponte, E. M., C. V. Godoy, X. Li, and X. B. Yang. 2006. Predicting severity of asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. *Phytopathology.* 96:797–803.
- Deverall, B. J., R. C. Keogh, and S. McLeod. 1977. Responses of soybean to infection by, and to germination fluids from, urediniospores of *Phakopsora pachyrhizi*. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 69:411–415.
- Edwards, H. H., and M. R. Bonde. 2011. Penetration and establishment of *Phakopsora pachyrhizi* in soybean leaves as observed by transmission electron microscopy. *Phytopathology* 101:894–900.
- Fehr, W. R., C. E. Caviness, D. T. Burmood, and J. S. Pemmintom. 1971. Stage of development description for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. *Crop Sci.* 11:929–931.
- Goellner, K., M. Loehrer, C. Langenbach, U. Conrath, E. Koch, and U. Schaffrath. 2010. *Phakopsora pachyrhizi*, the causal agent of asian soybean rust: Pathogen profile. *Mol. Plant Pathol.* 11:169–177.
- Harmon, P. F., C. L. Harmon, T. A. Mueller, J. J. Marois, and G. L. Hartman. 2006. First report of *Phakopsora pachyrhizi* telia on Kudzu in the United States. *Plant Dis.* 90:380.
- Hartman, G. L., T. C. Wang, and A. T. Tschanz. 1991. Soybean rust development and the quantitative relationship between rust severity and soybean yield. *Plant Dis.* 75:596-600.



- Hartman, G. L., E. D. West, and T. K. Herman. 2011. Crops that feed the world 2. Soybean-worldwide production, use, and constraints caused by pathogens and pests. *Food Secur.* 3:5–17.
- Hernández-Hernández, M. del R., A. Cárcamo-Rodríguez, and E. Luna-Martínez. 2014. Primer reporte de la fase sexual de la roya asiática de la soya (*Phakopsora pachyrhizi*) en México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 32:S58.
- Hoefle, C., M. Loehrer, U. Schaffrath, M. Frank, H. Schultheiss, and R. Hüchelhoven. 2009. Transgenic suppression of cell death limits penetration success of the soybean rust fungus *Phakopsora pachyrhizi* into epidermal cells of barley. *Phytopathology* 99:220–226.
- Hossain, M. M., H. Akamatsu, M. Morishita, T. Mori, Y. Yamaoka, K. Suenaga, R. M. Soares, A. N. Bogado, A. J. G. Ivancovich, and N. Yamanaka. 2015. Molecular mapping of asian soybean rust resistance in soybean land races PI 594767A, PI 587905 and PI 416764. *Plant Pathol.* 64:147–156.
- Isard, S. A., N. S. Dufault, M. R. Miles, G. L. Hartman, J. M. Russo, J. M. De Wolf, and W. Morel. 2006. The effect of solar irradiance on the mortality of *Phakopsora pachyrhizi* urediniospores. *Plant Dis.* 90:941–945.
- Kawuki, R. S., E. Adipala, and P. Tukamuhabwa. 2003. Yield loss associated with soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Syd.) in Uganda. *J. Phytopathol.* 151:7–12.
- Keogh, R. C., B. J. Deverall, and S. McLeod. 1980. Comparison of histological and physiological responses to *Phakopsora pachyrhizi* in resistant and susceptible soybean. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 74:329–333.
- Khanh, T. D., T. Q. Anh, B. C. Buu, and T. D. Xuan. 2013. Applying molecular breeding to improve soybean rust resistance in Vietnamese elite soybean. *Am. J. Plant Sci.* 04:1–6.
- Killgore, E., R. Heu, D. E. Gardner. 1994. First report of soybean rust in Hawaii. *Plant Dis.* 78:1216.
- Kochman, J. K. 1979. The effect of temperature on development of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*). *Aust. J. Agric. Res.* 30:273–277.
- Koenning, S. R. 2007. Southern United States soybean disease loss estimates for 2006. *P. So. Soybean Dis. Workers* 34:1-6.
- Koenning, S. R., and J. A. Wrather. 2010. Suppression of soybean yield potential in the continental United States by plant diseases from 2006 to 2009. Online. *Plant Health Progress* doi:10.1094/PHP-2010-1122-01-RS.
- Kumudini, S., C. V. Godoy, J. E. Board, J. Omielan, and M. Tollenaar. 2008. Mechanisms Involved in soybean rust-induced yield reduction. *Crop Sci.* 48:2334.
- Lacey, J. 1996. Spore dispersal its role in ecology and disease: the british contribution to fungal aerobiology. *Mycol. Res.* 100:641–660.
- Levy, C. 2005. Epidemiology and chemical control of soybean rust in Southern Africa. *Plant Dis.* 89:669–674.
- Li, S., J. R. Smith, J. D. Ray, and R. D. Frederick. 2012. Identification of a new soybean rust

- resistance gene in PI 567102B. *Theor. Appl. Genet.* 125:133–142.
- Loehrer, M., C. Langenbach, K. Goellner, U. Conrath, and U. Schaffrath. 2008. Characterization of nonhost resistance of *Arabidopsis* to the asian soybean rust. *Mol. Plant. Microbe Interact.* 21:1421–1430.
- Maldonado, N. M. 2013. Desarrollo de tecnología para mitigar el impacto de la sequía en la producción de soya en el sur de Tamaulipas. *Sistemas de Información de Fundaciones Produce. Fundación Produce Tamaulipas, A. C. Ejercicio 2013-2014.* Disponible en: [http://www.producetamaulipas.net/prot\\_agricola.php](http://www.producetamaulipas.net/prot_agricola.php) (Consulta: Abril, 2016).
- Maldonado, N. M., y G. L. Ascencio. 2010a. Huasteca 100, variedad de soya para el Sur de Tamaulipas y trópico de México. *Rev. Mex. Ciencias Agrícolas* 1:699–705.
- Maldonado, N. M., y G. L. Ascencio. 2010b. Huasteca 200, variedad de soya de baja sensibilidad al fotoperiodo corto para el trópico de México. *Rev. Mex. las Ciencias Agrícolas* 1:707–714.
- Maldonado, N. M., y G. L. Ascencio. 2014. Huasteca 600, variedad de soya para el sur de Tamaulipas. *Campo Experimental Sur de Tamaulipas, CIRNE-INIFAP. Altamira, Tamaulipas, México. Folleto técnico.* 18:26.
- Maldonado, N. M., y G. L. Ascencio. 2012. Tamesí, nueva variedad de soya para el trópico húmedo de México. *Rev. Mex. Ciencias Agrícolas* 3:1671–1677.
- Maldonado, N. M., G. L. Ascencio, y H. R. L. Gill. 2009. Huasteca 300, nueva variedad de soya para el Sur del estado de Tamaulipas. *Agric. Técnica en México* 35:481–485.
- Maldonado, N. M., G. L. Ascencio, and H. R. L. Gill. 2010. Huasteca 400, nueva variedad de soya para el Sur de Tamaulipas, oriente de San Luis Potosí y Norte de Veracruz. *Rev. Mex. Ciencias Agrícolas* 1:687–692.
- Marchetti, M. A., F. A. Uecker, and K. R. Bromfield. 1975. Uredial development of *Phakopsora pachyrhizi* in soybeans. *Phytopathology* 65:822.
- Melching, J. S., W. M. Dowler, D. L. Koogle, and M. H. Royer. 1989. Effects of duration, frequency, and temperature of leaf wetness periods on soybean rust. *Plant Dis.* 73:117.
- Miles, M. R., R. D. Frederick, and G. L. Hartman. 2003. Soybean rust: Is the U.S. soybean crop at risk? Available at: <http://www.apsnet.org/publications/apsnetfeatures/Pages/SoybeanRust.aspx> [Accessed April 10, 2015].
- Miles, M. R., C. Levy, W. Morel, T. Mueller, T. Steinlage, N. van Rij, R. D. Frederick, and G. L. Hartman. 2007. International fungicide efficacy trials for the management of soybean rust. *Plant Dis.* 91:1450–1458.
- Murillo-Williams, A., P. Esker, T. Allen, C. Stone, R. Frederick. 2015. First report of *Phakopsora pachyrhizi* on soybean in Costa Rica. *Plant Dis.* 99(3):418.
- Natti, J. J. 1971. Epidemiology and control of bean white mold. *Phytopathology* 61:669–674.
- NCBI (National Center for Biotechnology Information). 2015a. Taxonomy browser (*Glycine max*). Available at:

- <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?mode=Info&id=3847&lvl=3&keep=1&srchmode=1&unlock&lin=f> (Accessed August 3, 2015).
- NCBI (National Center for Biotechnology Information). 2015b. Taxonomy browser (*Phakopsora pachyrhizi*). Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?mode=Info&id=170000&lvl=3&lin=f&keep=1&srchmode=1&unlock> (Accessed April 10, 2015).
- Oerke, E. C. 2006. Crop losses to pests. *J. Agric. Sci.* 144:31-43.
- Ono, Y., P. Buriticá, and J. F. Hennen. 1992. Delimitation of *Phakopsora*, *Physopella* and *Cerotelium* and their species on Leguminosae. *Mycol. Res.* 96:825–850.
- Paul, C., R. D. Frederick, C. B. Hill, G. L. Hartman, and D. R. Walker. 2015. Comparison of pathogenic variation among *Phakopsora pachyrhizi* isolates collected from the United States and international locations, and identification of soybean genotypes resistant to the U.S. isolates. *Plant Dis.* 99:1059–1069.
- Peccia, J., and M. Hernandez. 2006. Incorporating polymerase chain reaction-based identification, population characterization, and quantification of microorganisms into aerosol science: A review. *Atmos. Environ.* 40:3941–3961.
- Peña-del-Río, M. de los Á., N. Maldonado-Moreno, y A. Díaz-Franco. 2014. Reacción de germoplasma de soya a *Phakopsora pachyrhizi* en campo. *Rev. Fitotec. Mex.* 37:225–227.
- Pérez-Vicente, 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. *Plant Pathology* 59: 803.
- Pham, T. A, M. R. Miles, R. D. Frederick, C. B. Hill, and G. L. Hartman. 2009. Differential responses of resistant soybean entries to isolates of *Phakopsora pachyrhizi*. *Plant Dis.* 93:224–228.
- Pinstrup-Andersen, P. 2000. The future world food situation and the role of plant diseases. *Can. J. Plant Pathol.* 22:321–331.
- Pivonia, S., and X. B. Yang. 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.
- Ploper, L. D., y M. R. Devani. 2002. La roya de la soja: principales aspectos de la enfermedad y consideraciones sobre su manejo. *Soja en Siembra Directa. AAPRESID.* pp:51-55.
- Posada-Buitrago, M. L., and R. D. Frederick. 2005. Expressed sequence tag analysis of the soybean rust pathogen *Phakopsora pachyrhizi*. *Fungal Genet. Biol.* 42:949–962.
- Rossi, R. L. 2003. First report of *Phakopsora pachyrhizi*, the causal organism of soybean rust in the Province of Misiones, Argentina. *Plant Dis.* 87:102–102.
- Rupe, J., and L. Sconyers. 2008. Soybean rust. *Plant Heal. Instr.* Available at: <http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/fungi/Basidiomycetes/Pages/SoybeanRust.aspx> [Accessed April 11, 2015].

- Schneider, R. W., C. A. Hollier, H. K. Whitam, M. E. Palm, J. M. McKemy, J. R. Hernández, L. Levy, and R. DeVries-Paterson. 2005. First report of soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* in the continental United States. *Plant Dis.* 89:774.
- Schwessinger, B., R. Bart, K. V. Krasileva, and G. Coaker. 2015. Focus issue on plant immunity: from model systems to crop species. *Front. Plant Sci.* 6:195.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2014. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/> (Consulta: Abril, 2015).
- Sikora, E. J., T. W. Allen, K. A. Wise, G. Bergstrom, C. A. Bradley, J. Bond, D. Brown-Rytlewski, M. Chilvers, J. Damicone, E. DeWolf, A. Dorrance, N. Dufault, P. Esker, T. R. Faske, L. Giesler, N. Goldberg, J. Golod, I. R. G. Gómez, C. Grau, A. Grybauskas, G. Franc, R. Hammerschmidt, G. L. Hartman, R. A. Henn, D. Hershman, C. Hollier, T. Isakeit, S. Isard, B. Jacobsen, D. Jardine, R. Kemerait, S. Koenning, M. Langham, D. Malvick, S. Markell, J. J. Marois, S. Monfort, D. Mueller, J. Mueller, R. Mulrooney, M. Newman, L. Osborne, G. B. Padgett, B. E. Ruden, J. Rupe, R. Schneider, H. Schwartz, G. Shaner, S. Singh, E. Stromberg, L. Sweets, A. Tenuta, S. Vaiciunas, X. B. Yang, H. Young-Kelly, and J. Zidek. 2014. A coordinated effort to manage soybean rust in North America: a success story in soybean disease monitoring. *Plant Dis.* 98:864-875.
- Slaminko, T. L., M. R. Miles, R. D. Frederick, M. R. Bonde, and G. L. Hartman. 2008. New legume hosts of *Phakopsora pachyrhizi* based on greenhouse evaluations. *Plant Dis.* 92:767-771.
- Soares, R. M., S. D. A. L. Rubin, A. P. Wielewicki, and J. G. Ozelame. 2004. Fungicidas no controle da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) e produtividade da soja. *Ciência Rural* 34:1245-1247.
- Terán-Vargas, A. P. 2010. Control químico de la roya asiática de la soya. *In: Tecnologías generadas, validadas o transferidas en los estados de Tamaulipas, San Luis Potosí, Coahuila, y Nuevo León en el año de 2010.* (Eds) Elizondo, J. B., N. M. Maldonado, J. L. Barrón-Contreras, G. J. Lara-Guajardo y G. J. García-Dessommes. Centro de Investigación regional del Noreste Rio Bravo, Tamaulipas. Noviembre 2011. Folleto técnico No. 52. 164 pp.
- Terán-Vargas, A. P., G. L. Ascencio, N. M. Maldonado y J. V. Ávila. 2007. La roya asiática de la soya en México. Folleto Técnico Núm. 22. Campo Experimental Sur de Tamaulipas, CIRNE-INIFAP. Altamira, Tam., México. 53 pp.
- Terán-Vargas, A. P., y P. García-Salazar. 2009. Control químico de la roya asiática de 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 pp.
- Tremblay, A., P. Hosseini, S. Li, N. W. Alkharouf, and B. F. Matthews. 2013. Analysis of *Phakopsora pachyrhizi* transcript abundance in critical pathways at four time-points during infection of a susceptible soybean cultivar using deep sequencing. *BMC Genomics.* 14:614.

- Vakili, N. G. and K. R. Bromfield. 1976. *Phakopsora* rust on soybean and other legumes in Puerto-Rico. Plant Dis. Rep. 60: 995–999.
- Wrather, A., G. Shannon, R. Balardin, L. Carregal, R. Escobar, G. K. Gupta, Z. Ma, W. Morel, D. Ploper, and A. Tenuta. 2010. Effect of diseases on soybean yield in the top eight producing countries in 2006. Online. Plant Health Progress doi:10.1094/PHP-2010-0125-01-RS.
- Yamaoka, Y., N. Yamanaka, H. Akamatsu, and K. Suenaga. 2014. Pathogenic races of soybean rust *Phakopsora pachyrhizi* collected in Tsukuba and vicinity in Ibaraki, Japan. J. Gen. Plant Pathol. 80:184–188.
- Yáñez-Morales, M. de J., I. A. Martínez, J. M. S. Rocha, D. K. Malvick, J. E. Kurle, C. M. Floyd, and S. V. Krupa. 2009. Soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* detected in the state of Campeche on the Yucatan Peninsula, Mexico. Plant Dis. 93:847–847.
- Yorinori, J. T., E. Soja, W. M. Paiva, R. D. Frederick, L. M. Costamilan, P. F. Bertagnolli, G. E. Harman, C. V. Godoy, and J. Jr. Nunes. 2005. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. Am. Phytopathol. Soc. 89:2005.

## **CAPITULO II. DETECCIÓN AÉREA DEL INÓCULO PRIMARIO DE LA ROYA ASIÁTICA (*Phakopsora pachyrhizi*) DE LA SOYA (*Glycine max*) EN EL SUR DE TAMAULIPAS**

### **RESUMEN**

La roya asiática de la soya (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow) afecta a los países con este cultivo y ha tenido una rápida dispersión en México. En este país se reporta en leguminosas como soya, jícama y frijol; y al momento el cacahuete es uno de los cultivos en riesgo. En el sur de Tamaulipas ha afectado continuamente la producción de semilla de soya. Por ello el objetivo fue detectar la densidad y fluctuación del inóculo primario aéreo (uredosporas) de *P. pachyrhizi* en lluvia y viento, correlacionarlo con posibles variables climatológicas y con la enfermedad en campo. El estudio se hizo del 31 de junio al 16 de octubre 2014 en dos sitios experimentales en el Mpio. de Altamira del sur de Tamaulipas: Campo Experimental CEHUAS-INIFAP y La Resolana en un área de 2.2 ha, y ambas con la variedad Huasteca 200. El monitoreo del inóculo en lluvia fue con pluviómetros-trampa de 10 cm de diámetro, y del inóculo aéreo fue con portaobjetos-trampa impregnadas con vaselina-hexano y colocados verticalmente a dos alturas, y orientadas a cada punto cardinal. Paralelamente cada semana se evaluó incidencia y severidad de la enfermedad en folíolos del cultivo. En lluvia se detectó sólo una uredospora en La Resolana a 42 días antes de la detección de la enfermedad en campo, y ninguna espora fue detectada en CEHUAS. En viento se detectaron uredosporas en etapas fenológicas R3 del cultivo de soya para el CEHUAS y en R2 para La Resolana desde Septiembre 18, hasta la aparición de las infecciones primarias un mes después. La densidad del inóculo primario se correlacionó inespecífica con varias direcciones del viento como sigue: en CEHUAS para ambas alturas fue del Sur y Oeste (O), y a 142 cm de altura con O y Norte (N); en la Resolana en viento hubo bajo número de uredosporas y se correlacionaron a 142 cm con el O y N; y con temperatura mínima. Así el estudio ubicó la presencia del inóculo primario desde un mes antes de la detección de la enfermedad con incidencia baja (0.22 %) y severidad mínima (0.6 %). *P. pachyrhizi* se diagnosticó por morfología y análisis moleculares. El estudio permitirá la toma de medidas preventivas de control. La velocidad del viento se debe considerar en otros estudios con principal énfasis, en cada dirección del viento.

## 2.1. INTRODUCCIÓN

La roya asiática de la soya causada por *Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow de origen oriental y detectada hace casi un siglo (Schneider *et al.*, 2005), es una enfermedad devastadora que se ha expandido a muchas regiones del mundo donde se cultiva la soya [*Glycine max* (L.) Merrill] (Choi *et al.*, 2008); y las pérdidas en el rendimiento hacen a más del 50 % en condiciones ambientales óptimas para el desarrollo de esta enfermedad foliar (Hartman *et al.*, 2005). Su distribución mundial se debe en parte a su amplia gama de leguminosas hospedantes (Hartman *et al.*, 2005) y a la rápida movilidad de sus uredosporas a largas distancias a través del viento (Li *et al.*, 2012) al ser liberadas por las uredias (Goellner *et al.*, 2010). En 2004 esta roya arribó a Estados Unidos en Baton Rouge, Luisiana, USA (Schneider *et al.*, 2005) y su impacto restringió la producción de soya (Li *et al.*, 2012). Durante el 2005 fue reportada en México en los municipios de Ébano y Tamuín en San Luis Potosí y en el Sur del estado de Tamaulipas, en lotes comerciales de soya de la variedad Huasteca 400 del ciclo primavera-verano (Cárcamo-Rodríguez *et al.*, 2006). Desde su llegada, las detecciones continuaron en Veracruz (2007), Chiapas en jícama [*Pachyrhizus erosus* (L.)] y soya, en Campeche cerca de la Península de Yucatán (2008), en hospedantes silvestres (2009) y frijol negro [*Phaseolus vulgaris* (L.)] variedad Jamapa (2012) en Tamaulipas (2009), y en Guanajuato, Guerrero, Morelos, Nayarit y Sinaloa (2013) (Yáñez-Morales *et al.*, 2009; Cárcamo-Rodríguez *et al.*, 2013; Hernández-Hernández *et al.*, 2014). Por lo que se encuentra presente en 10 estados de la república Mexicana y uno en riesgo, por su cercanía a una detección, mismos que contribuyen con la producción nacional de leguminosas como son: el 57 % de cacahuete [*Arachis hypogaea* (L.)], 34 % de frijol; 77 % de jícama (nueve estados) y 94 % de soya (cinco estados) (SIAP, 2014). De manera que se encuentra en riesgo gran parte de la producción nacional de estos cultivos, y es la enfermedad de mayor importancia económica en el cultivo de soya (Li *et al.*, 2012).

En Aerobiología es de gran interés conocer la densidad del inóculo primario, uredosporas, de la roya asiática de la soya que arriban a través del aire, ya que son las que causan las infecciones iniciales en siembras de primavera y de otoño. A estas infecciones se les denomina infecciones primarias y la gravedad de la enfermedad y las pérdidas que generen dependerán de la cantidad del inóculo primario (Agrios, 2005).

Este puede provenir de campos cercanos o lejanos (Natti, 1971), finalizando su proceso de dispersión por el viento, con la deposición en el hospedante por sedimentación, deposición turbulenta, y/o por lluvia e impacto (Lacey, 1996). El inóculo primario son las esporas en el aire responsables de iniciar las enfermedades en campo asociado a factores ambientales como la temperatura y humedad relativa para la infección, y producción del inóculo secundario (Abawi y Grogan, 1975). Por lo que el monitoreo de la deposición del inóculo con trampas para su detección en lluvia y aire, ayudan a confirmar su presencia y a pronosticar la enfermedad (Isard *et al.*, 2006).

La Aerobiología complementa el conocimiento de la dispersión espacial y temporal del inóculo primario, la epidemiología de la enfermedad y apoya la toma oportuna de medidas de control adecuadas, considerando como factores importantes la intensidad del viento y su dirección, y la lluvia (McCartney *et al.*, 1997). En aerobiología se considera que la detección de una sola espora en el aire diagnostica la presencia del inóculo primario en tiempo y espacio y que ayuda a la oportuna aplicación de medidas preventivas de control (Aylor, 1979). En el caso de la roya asiática de la soya, y debido a la falta de información sobre la densidad del inóculo primario y el posible efecto de la variabilidad de los factores ambientales como temperatura, y humedad relativa sobre la fluctuación del inóculo, en este trabajo se establecieron los siguientes objetivos:

- a) Detectar la presencia y fluctuación del inóculo primario de *P. pachyrhizi* en lluvia y viento en el sur de Tamaulipas.
- b) Determinar la posible relación entre el inóculo primario de la roya asiática de la soya presente en lluvia y viento con las variables climatológicas como son:

humedad relativa,  
temperatura,  
precipitación,  
dirección, y  
velocidad del viento,

y con la hipótesis de que:

“la presencia y fluctuación del inóculo primario de la roya asiática de la soya en lluvia y viento causa las infecciones primarias, si, las condiciones ambientales son las apropiadas para la infección por las uredosporas”.



Este estudio se desarrolló considerando que: en el sur de Tamaulipas anualmente se presenta el fenómeno de vientos fuertes denominados “nortes”. La región es una zona de transición clasificada de Semiárida-subhúmeda a Cálida-subhúmeda con vientos polares del Norte (a través de Canadá y Estados Unidos), de ahí que el fenómeno toma el nombre de “nortes”. Estos fuertes vientos se presentan durante los meses desde inicio del Otoño (finales de Sep.) hasta finales del Invierno (Marzo). Son vientos fuertes e intensos que a través del Noreste invaden cada año gran parte de las costas del Golfo de México (<http://www1.inecol.edu.mx/costasustentable/esp/pdfs/Publicaciones/Dunas/Climas.pdf>) y donde se ubica el sur de Tamaulipas de este estudio y así, estos vientos en Aerobiología, tienen directa relación con la dispersión de esporas lo que motiva la conducción del estudio y su factibilidad.

## **2.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.2.1. Localización del experimento**

Durante el ciclo Primavera-Verano de Julio a Noviembre de 2014, se establecieron dos experimentos en el municipio de Altamira en la zona sur del estado de Tamaulipas, México.

1. El primero se sembró el 4 Julio (fecha de siembra comercial en la región) en el Campo Experimental las Huastecas (CEHUAS) - CIR (Centro de Investigaciones Regionales) del Noreste - INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias) (22° 34' 14.64'' N; 98° 10' 19.71'' O; 18 msnm) en una parcela destinada a la producción de semillas de soya.
2. El segundo fue sembrado el 12 de Julio (fecha de siembra comercial en la región) en un lote comercial en La Resolana (22° 34' 35.03'' N; 98° 0' 9.21'' O; 23 msnm).

El terreno se preparó con maquinaria y consistió en un barbecho, rastreo y surcado a 76 cm. Las parcelas fueron de 2.2 ha c/u en las que se sembró la variedad de soya Huasteca 200, a una densidad de 22 plantas por metro lineal (Maldonado *et al.*, 2007). Se instalaron trampas para

detectar y cuantificar el inóculo primario de *P. pachyrhizi* en lluvia y viento hasta la aparición de las infecciones primarias dentro de cada parcela en estudio. Las variables climatológicas: velocidad del viento (VV), dirección del viento (DV), precipitación pluvial (Pp), humedad relativa (HR), temperatura mínima (Tn), temperatura media (Tm) y temperatura máxima (Tx) fueron proporcionadas de la estación climatológica más cercana denominada “CESTAM Altamira” (Red de estaciones del INIFAP: <http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/#>) (22° 34' 0.17" N; 98° 10' 0.83" O) y ubicada en el primer lote de estudio.

## **2.2.2. Inóculo Primario en agua de lluvia**

### **2.2.2.1. Pluviómetros-Trampa**

Para capturar el inóculo primario-uredosporas de *P. pachyrhizi* en lluvia, se colocaron por sitio de experimento cuatro pluviómetros (una repetición c/u) (EW-03319-10, Cole-Parmer®, USA) con dimensiones de 14" x 4.1" (35.56 x 10.41 cm) y captación total de 252 mm; éstos se sujetaron a estacas, y se colocaron en el campo en cada uno de los cuatro lados de la parcela de forma equidistante (en cada esquina dentro de último surco colindante), a una altura de 85 cm sobre el suelo. Las trampas se colocaron en cada sitio experimental el 31 de Junio de 2014, antes de la siembra del cultivo que fue el día 4 de julio en CEHUAS, y 12 de julio en La Resolana.

*El uso de pluviómetros de boca angosta, en lugar del uso de cubetas de boca amplia y usados en trameos anteriores (no publicado) fue decisión unilateral en campo del Asesor Externo: Dr. Antonio Palemón Terán Vargas.*

#### **2.2.2.1.1. Manejo de trampas**

Las muestras de lluvia por pluviómetro se recolectaron un día posterior al evento de lluvia registrado. Se agitó el contenido de los pluviómetros con movimientos alternados de arriba hacia abajo y de forma circular procurando la mayor perturbación del líquido recolectado; el contenido se vació rápidamente en frascos de plástico de 500 ml y se finalizó con el enjuague de los pluviómetros. Las muestras de lluvia se conservaron a -20 °C hasta su procesamiento. Antes de su revisión se dejaron en un periodo de descongelamiento y reposo de 24 h, y los excesos de agua en las muestras se eliminaron por decantación, concentrando únicamente la mínima posible

muestra para su centrifugación a 2500 rpm en tubos para centrífuga de 50 ml, el sedimento se colocó en tubos Eppendorf de 5 ml y se conservaron a -2 °C. El conteo de las uredosporas de las muestras se hizo en un microscopio compuesto (Olympus CX31, Japón) a 40X. Se colocaron tres gotas equidistantes (20 µl c/u) de la muestra de agua de lluvia homogenizada por portaobjeto y se cubrió cada una con un cubreobjetos (18 x 18 mm), y en cada gota se contó en todos los campos el total de uredosporas trampeadas. Los montajes donde se observaron uredosporas de *P. pachyrhizi* se lavaron con agua destilada y los residuos se depositaron nuevamente en el tubo Eppendorf de la muestra correspondiente para otros posibles análisis. En cada evento de Pp se consideró el total de uredosporas de las cuatro repeticiones.

### **2.2.3. Inóculo Primario en Viento**

#### **2.2.3.1. Portaobjetos-trampa**

Para la detección de la presencia del inóculo primario (uredosporas) en viento, se combinó y utilizó la técnica de Calderón *et al.* (2002) y Ostry y Nicholls (1982) sustituyendo la cinta adhesiva de celofán transparente por un portaobjetos, y adicionándole vaselina-hexano (evitar el lavado de los portaobjetos causado por el derretimiento debido a las altas temperaturas de la región). La mezcla de vaselina-hexano se preparó después de deshacer la vaselina en baño María, en una proporción de 1 g: 5 ml, y se impregnaron los portaobjetos de un lado con tal mezcla.

Doce portaobjetos se colocaron verticalmente en estacas a 85 cm de altura, y otros 12 portaobjetos a 142 cm de altura, sujetándolos con una liga en ambos extremos y apoyándolos en la base en dos clavos. Las estacas fueron colocadas de la siguiente manera: dos repeticiones en cada punto cardinal alrededor de la parcela (6 m dentro del cultivo en cada borde) y una repetición en cada punto cardinal en el centro de la parcela y por cada una de las dos alturas. La orientación fue con un GPS (Garmin 010-00190-06, U.S.A).

Los portaobjetos-trampa se colocaron en campo el 18 de Septiembre de 2014 en el CEHUAS en un cultivo de soya en estado fenológico R3 [con una vaina de 0.5 cm de largo en uno de los cuatro nudos superiores de la planta y con una hoja desarrollada (Fehr *et al.*, 1971)]; y el 19 de Septiembre en La Resolana en un cultivo en R2 [una flor abierta en uno de los nudos superiores y con una hoja completamente desarrollada (Fehr *et al.*, 1971)].

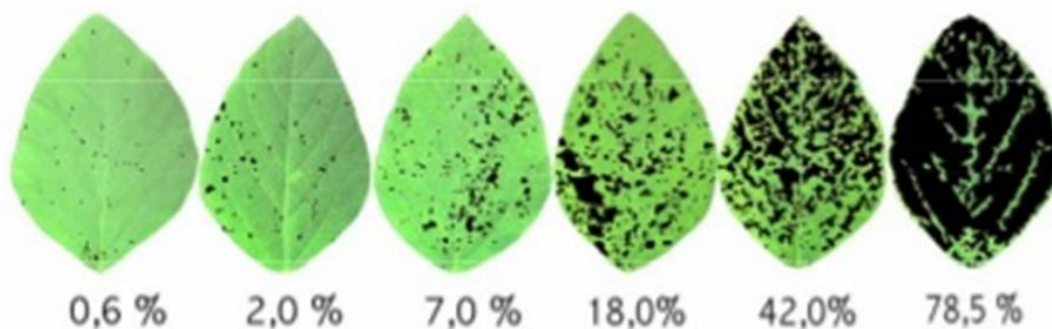
### **2.2.3.1.1. Manejo de las trampas y cuantificación de uredosporas**

Las trampas se cambiaron semanalmente y fueron colocadas en cajas para portaobjetos. Las uredosporas se contaron en microscopio compuesto a 40X. Sobre el portaobjeto y de forma equidistante, se colocaron dos gotas de ácido láctico al 85 % (Reasol<sup>MR</sup>, México) por portaobjeto; y se cubrió cada una con un cubreobjeto; y en cada uno se contó en todos los campos las uredosporas capturadas. Se consideró como un total, la cantidad de uredosporas contadas del total de las tres repeticiones (gotas de ácido) por portaobjeto, por punto cardinal (6 m hacia dentro del cultivo en cada lado y centro de la parcela), dos repetición, y por altura de la trampa con un total de 12 portaobjetos-trampa en cada altura.

### **2.2.4. Incidencia y severidad: infecciones primarias foliares**

Paralelamente cada semana desde la nacencia del cultivo, en ambas parcelas se evaluaron 50 plantas por cada 12 puntos de muestreo distribuidos en “W” en las 2.2 ha por parcela. Por planta se examinó un foliolo en cada tercio de la altura de la planta (hojas de la parte inferior, media y superior) con una lupa de 40X (Oem 40 x 25 mm, China) para detectar síntomas y signos iniciales de *P. pachyrhizi*. Entonces se evaluó en 50 plantas por cada punto de muestreo en W:

- a)** Incidencia: porcentaje de hojas enfermas respecto al total de hojas en cada tercio (inferior, medio y superior).
- b)** Severidad. Se evaluó empleando la escala propuesta por Godoy *et al.* (2006) (Figura 3.I). Esto considerando el promedio del porcentaje (área visual) foliar enfermo con respecto al porcentaje total de foliolos evaluados en cada tercio de la planta.



**Figura 3.I.** Escala de severidad de Godoy *et al.* (2006) para la roya asiática de la soja, *P. pachyrhizi*.

### 2.2.5. Identificación morfológica

Las uredosporas observadas en muestras de lluvia y en viento se compararon por forma, color, ornamentaciones y mediciones en  $\mu\text{m}$ , con material de herbario (hojas enfermas por *P. pachyrhizi* colectadas en el ciclo anterior 2013), proveniente del Herbario Micológico de Fitopatología del Colegio de Postgraduados, CMPH, del Campus Montecillo. Para ello, y por medio de un raspado con una aguja hipodérmica de 3 ml se extrajeron uredosporas del material del herbario y se hicieron montajes con glicerol acidificado al 50 % para su observación a 40X en un microscopio compuesto. Las uredosporas fueron comparadas según el Sistema de Saccardo (Kirk *et al.*, 2008; Crous *et al.* (2009): forma, coloreadas o incoloras, no septadas, ornamentación, y sus dimensiones en  $\mu\text{m}$ , con las obtenidas en los muestreos de lluvia y viento como se ha indicado, y se corroboraron con la descripción detallada e ilustrada de Ono *et al.* (1992).

Además, para identificar a *P. pachyrhizi* en hojas con uredias en infecciones primarias, por morfología, se midieron en  $\mu\text{m}$  292 uredosporas, se calculó el rango (con 95 % de intervalo de confianza) y los valores mínimos y máximos extremos (2.5 % de intervalo en cada uno) se indicaron entre paréntesis (Crous *et al.*, 2009).

### 2.2.6. Caracterización molecular

Para caracterizar y diferenciar *P. pachyrhizi* de *P. meibomiae* (otra roya foliar morfológicamente indistinguible en soya) se extrajo ADN (CETAB método) a partir de muestras foliares con uredosporas de roya asiática colectadas, y se analizaron por reacción en cadena de la polimerasa (PCR) con los primers específicos Ppm1 (GCAGAATTCAGTGAATCATCAAG) y Ppa2 (GCAACACTCAAAAATCCAACAAT) para *P. pachyrhizi* (Frederick *et al.*, 2002), y secuenciación en MACROGEN y depósito en NCBI (National Centre for Biotechnology Information).

### 2.2.7. Análisis estadístico

1. Los datos obtenidos de los muestreos de inóculo primario (uredosporas trampeadas) se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y correlación. Los análisis se hicieron empleando el paquete estadístico SAS 9.00 (SAS Institute, 2002).

2. Considerando que pueda existir correlación entre varias de las variables climatológicas registradas, se aplicó también un análisis de “**Componentes Principales**” (Castillo, 2007). Se incluyó la densidad del inóculo primario por punto cardinal, la altura de trampas, y las diversas posibles variables climatológicas.

*Este análisis de Componentes fue por instrucciones de la Asesora, Dra. Ma. del Pilar Rodríguez Guzmán, aunque no se respalda con ningún nivel de coeficiente de probabilidad y/o de significancia, y tampoco se encontraron en la literatura de fitopatología, artículos con este tipo de análisis.*

3. La fluctuación del inóculo primario de la roya asiática se graficó para observar su comportamiento hasta la aparición de las infecciones primarias.

## 2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2.3.1. Inóculo Primario en Agua de Lluvia

### 2.3.1.1. Trampas-pluviómetros

#### 2.3.1.1.1. Sitio 1: CEHUAS.

No se detectó inóculo primario aéreo en el agua de lluvia a pesar de que se analizaron 27 muestras del 1 de julio al 16 de octubre, y un rango de Pp que fluctuó de 2.3 a 53.4 mm.

Sin embargo, sí se detectó la aparición de las primeras infecciones primarias en hojas inferiores de soya el 16 de Octubre de 2014.

**Incidencia** de la enfermedad en el cultivo del 0.22 % y una

**severidad** del 0.6 % en la escala de severidad de Godoy *et al.* (2006) (Figura 3.I):

**2.3.1.1.2. Sitio 2: La Resolana.** Sólo se detectó **una uredospora** de *P. pachyrhizi*. Esto fue en el décimo muestreo (5 de Septiembre de 2014). Se analizaron 20 muestreos en lluvia y las Pp variaron de 5.1 a 65.1 mm.

Aunque en un evento de Pp de 40.6 mm con el cultivo en R1 [una flor abierta en cualquier nudo (Fehr *et al.*, 1971)] si se detectó el inóculo primario, una única uredospora en lluvia, y sin infección primaria dentro del cultivo de soya: 0 % de incidencia y 0 % severidad.

Por lo anterior, no se pudo establecer ninguna correlación entre las variables climatológicas, y la densidad del inóculo primario en lluvia en ambos sitios de muestreo. Aunque en 2007, en estudios preliminares del CEHUAS (datos no publicados), en muestreos de lluvia de Agosto a Octubre se detectó la presencia del inóculo primario de la roya asiática de la soya durante los meses de Septiembre y Octubre con fluctuación de 3 – 17 uredosporas, y donde la primera detección se hizo en un promedio de Pp de 62.44 mm. En otros muestreos en Santa Elena (misma región de este estudio) se tuvo algo similar. En otros estudios del CEHUAS en 2008 en lluvia (datos no publicados), la fluctuación fue de 12 – 27 uredosporas del inóculo primario durante Septiembre y la primera semana de Octubre. Probablemente las diferencias en los resultados anteriores con respecto al año 2014 de este estudio se debieron al tamaño de las trampas para colectar muestras de lluvia y en los que se emplearon cubetas de 25 cm de diámetro

y una capacidad de 10 L, en 2007 y 2008, mientras que el diámetro de los pluviómetros en 2014 fue de 10 cm con una capacidad de 252 mm.

Asimismo, Krupa *et al.* (2006) detectaron uredosporas en agua de lluvia en USA en 2005 (28 de Junio al 5 de Julio). Por otro lado, del Ponte *et al.* (2006) encontraron a la Pp como una variable correlacionada con la gravedad de la enfermedad y útil para las predicciones estacionales de la roya de la soya al evaluar los efectos de la intensidad de la lluvia, y la deposición de uredosporas con lluvia. Por deposición encontraron que el 50 % de las uredosporas son retenidas en el tercio superior del cultivo y la otra mitad se distribuye entre el tercio medio e inferior del cultivo, mientras que la intensidad de la Pp no tuvo ningún efecto en la distribución de uredosporas sobre la planta; sin embargo, con Pp de 45 mm h<sup>-1</sup> se tuvo mayor número de uredosporas en el follaje por cm<sup>2</sup> a diferencia de Pp de 85 mm h<sup>-1</sup>. Otros estudios realizados por Barnes *et al.* (2009), demostraron la presencia del inóculo de la roya de la soya en lluvia en muestreos realizados en verano del 2005 y 2006 en la región central y este de los Estados Unidos, con detecciones en las costas del Golfo de México y del Atlántico, y en el Valle del Rio Ohio al oeste de Kansas, triplicándose el número de detecciones en el 2006 con respecto al 2005. Estos antecedentes corroboraron que el uso de los pluviómetros-trampa con reducido diámetro, fue la causa de que no se detectaron uredosporas en lluvia en este estudio.

### **2.3.2. Inóculo Primario en Viento**

#### **2.3.2.1. Trampas-portaobjetos: CEHUAS.**

Sí se detectó la presencia de inóculo primario de la roya asiática de la soya en viento y en ambos sitios de muestreo. A partir de la primera semana de muestreo del 18 al 25 de Septiembre en el CEHUAS (Figura 4), y en la segunda semana de muestreo en La Resolana del 26 de Septiembre al 3 de Octubre de 2014 (Figura 4); y su presencia del inóculo primario se mantuvo hasta un mes después con la aparición de las infecciones primarias en la hojas inferiores de la planta de soya, el 16 y 17 de Octubre respectivamente (Figura 4); disminuyendo paulatinamente la densidad de uredosporas detectadas en los portaobjetos-trampa el 16 de Octubre de 2014.



### **Incidencia y severidad:** infecciones primarias

En CEHUAS fue el 16 de Octubre y en la Resolana el 17 de Octubre, 2014. En estas fechas por primera vez se detectaron las infecciones primarias en las hojas inferiores de las plantas de soya, y según la escala de Godoy *et al.* (2006\*) (Figura 3.I) para severidad con:

incidencia del 0.22 %, y  
severidad del 0.6 % \*

**2.3.2.1.1. Altura de trampas.** La densidad de inóculo primario cuantificado en el CEHUAS, mostró correlación con la altura ( $\rho=0.56$  y  $\alpha<0.0001$ ). A pesar de que el valor del coeficiente de correlación fue bajo, su probabilidad fue alta. Lo que puedo indicar que hay cierta tendencia a haber una mayor densidad de inóculo de la roya a mayor altura de muestreo (Figura 4). Probablemente a 85 cm de altura hubo efecto del dosel del cultivo en la deposición de uredosporas por impacto en los portaobjetos-trampa, debido a que las trampas quedaron 10 cm por debajo del dosel del cultivo a partir del muestreo del segundo muestreo. Lo que hizo no confiable estos resultados a 85 cm de altura para su comparación con 145 cm de altura (libres del dosel).

En los datos obtenidos en La Resolana sobre la densidad de inóculo con respecto la altura de las trampas, no se encontró ninguna correlación lo que se asoció con una baja densidad del inóculo primario. Así existió una diferencia entre la densidad del inóculo primario cuantificado entre ambos sitios de muestreo, siendo mayor en el CEHUAS con respecto a La Resolana (Cuadro 9).

Estas diferencias se podrían deber a la orografía de los sitios de muestreo. La Resolana tiene montes en S y O, mientras que la parcela establecida en el CEHUAS por ser un sitio experimental del INIFAP se encuentra alejado de montes que pudieran interferir en la densidad del inóculo, sin embargo enfrente del CEHUAS a pocos kms se localiza una sierra baja. También se pudo deber a la existencia de hospedantes alternativos de la roya; o a la dirección del lugar de muestreo donde se tuvo la mayor densidad de uredosporas de la roya asiática de la soya.

**Cuadro 9.** Comparación de medias por la prueba de Tukey de acuerdo a la densidad del inóculo primario de *P. pachyrhizi* por sitio de muestreo en Altamira, Tamaulipas durante el ciclo Primavera-Verano 2014.

SITIO	N	MEDIA
CEHUAS	32	25.21 a
La Resolana	32	0.46 b

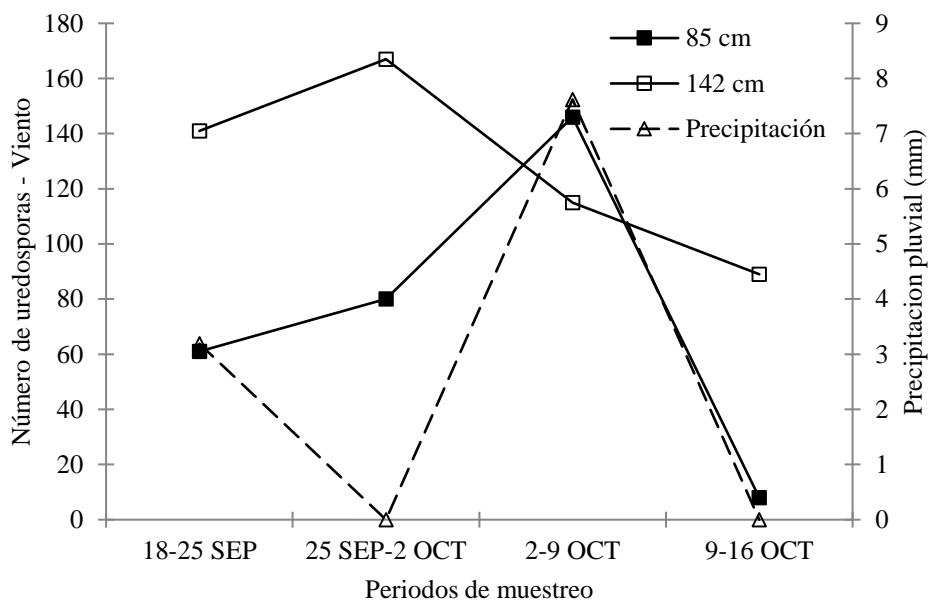
Diferentes letras indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )

N= Número de tratamientos

**2.3.2.2. Sitio 1. CEHUAS.** Relaciones entre la: a) Densidad del inóculo primario, b) Dirección del Viento, c) Precipitación pluvial

**2.3.2.2.1. Trampas a 142 cm.** La fluctuación en la densidad del inóculo primario en el CEHUAS varió de 92 a 165 uredosporas en presencia o ausencia de Pp (Figura 4). La Pp pudo no favorecer la dispersión del inóculo aéreo (uredosporas), además de otros posibles factores involucrados, pero favoreció su deposición. En la última semana de muestreo la densidad de inóculo disminuyó en ausencia de Pp (Figura 4), y se detectaron las infecciones primarias en esta última semana. Estas se pudieron asociar a la biología del hongo o de sus hospedantes alternativos, del viento predominante, y/o de las condiciones ambientales como temperatura y HR. Según Abawi y Grogan (1975), la producción del inóculo en otro hongo fitopatogeno y un diferente cultivo, es afectado por factores ambientales como la temperatura y la HR disponible en el ambiente.

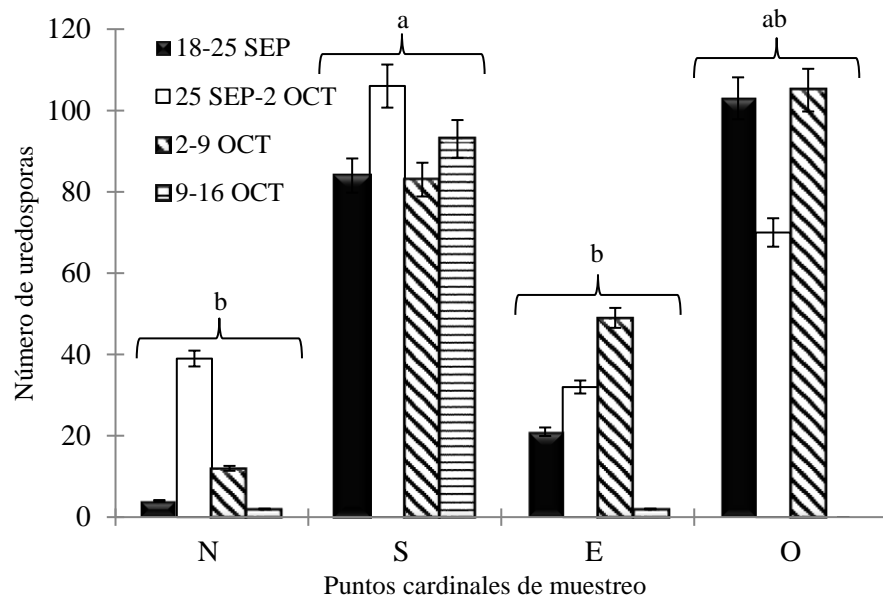
**2.3.2.2.2. Trampas a 85 cm.** La fluctuación de uredosporas (5-146) presento un patrón similar a través del tiempo aunque en menor escala (Figura 4). Sin embargo, en presencia de Pp (tercer muestreo) la densidad de uredosporas de *P. pachyrhizi* tiene una ligera tendencia a incrementarse de 80 a 146 uredosporas (Figura 4). Es probable que a ésta altura las gotas de lluvia precipitaran las uredosporas, y por el impacto en el dosel del cultivo (follaje de soya), estas favorezcan la deposición de inóculo primario en los portaobjetos-trampa que se encontraban 10 cm por debajo del dosel, por lo que los resultados son dudosos de interpretar del efecto de esta altura con respecto a la altura de 145 cm que estaban las trampas por arriba del dosel (libres del follaje).



**Figura 4.** Viento: fluctuación de la densidad del inóculo primario (No. de uredosporas) de *P. pachyrhizi* en presencia de Pp durante el ciclo Primavera-Verano a dos diferentes alturas de trampas a partir del 18 de Septiembre finalizando el 16 de Octubre de 2014 con la detección de las infecciones primarias (16 de Oct.) en las hojas inferiores de las plantas de soya con una incidencia del 0.22 % y severidad de 0.6 % en la escala de Godoy *et al.* (2006). Altura del dosel del cultivo fue de 95 cm (trampas 10 cm debajo) a partir del segundo muestreo (25 Sep.-2 Oct.) en el CEHUAS en Villa Cuauhtémoc municipio de Altamira, Tamaulipas.

### 2.3.2.2.3. Densidad de inóculo y puntos cardinales (significancia).

La dirección de dónde provino la mayor densidad del inóculo primario, independientemente de la altura de trampas fue del S ( $\rho = 0.88$  y  $\alpha < 0.0001$ ), seguido del O; y donde el coeficiente de correlación fue bajo aunque significativo ( $\rho = 0.54$  y  $\alpha < 0.0001$ ) lo que puede indicar una tendencia constante a través de los muestreos sobre la procedencia del inóculo primario de la dirección S, en comparación al O donde durante el último muestreo (9-16 Oct.), “no se detectó inóculo primario del O (Figura 5). En los puntos cardinales de direcciones del viento que fueron significativos, podría existir la presencia de hospedantes alternos de la roya asiática principalmente del S, o a la ausencia de barreras naturales en esta dirección. La densidad de inóculo más bajo provino del N y E (Figura 5).



**Figura 5.** A) Densidad del inóculo primario de *P. pachyrhizi* registrado en, b) Viento de las trampas ubicadas en las direcciones N, S, E y O del área experimental, hasta la aparición de las infecciones primarias en hojas inferiores de soya con una incidencia de 0.22 % y severidad del 0.6 % en la escala de Godoy *et al.* (2006) el 16 de octubre de 2014, y sin considerar la altura de las trampas de muestreo. Altura del dosel del cultivo fue de 95 cm en el CEHUAS durante el ciclo Primavera-Verano 2014 en Villa Cuauhtémoc municipio de Altamira, Tamaulipas.

#### 2.3.2.2.4. Altura de trampas y dirección del viento (correlaciones).

De acuerdo al análisis de correlación a 85 cm de altura, indicó que hubo mayor densidad de inóculo primario en los portaobjetos-trampa del E, S y O (Cuadro 10). Estos resultados se pueden considerar confusos y se deben tomar con reserva, dado que las trampas a esta altura estuvieron cubiertas por el dosel del cultivo y el movimiento de las hojas probablemente causó remolinos de viento y ayudo a trampear más uredosporas en los portaobjetos.

A 142 cm de altura la densidad del inóculo muestreado provino principalmente del O y seguido del N (Cuadro 10). Estos resultados a esta altura son mejores y reales, dado que las trampas estuvieron libres en el viento sin interferencia del dosel del cultivo. Del O en ambas alturas fueron correlaciones semejantes.

Aunque no se encontró correlación alguna entre la densidad del inóculo cuantificado en los portaobjetos-trampa del S y la altura de 142 cm (Cuadro 10), de forma gráfica la mayor densidad

de inóculo primario provino de ésta dirección S (Figura 6B). Esto se puede deber a que los vientos provenientes de esta dirección S, en general fueron poco frecuentes con una velocidad promedio de 0.1-0.7 km/h, pero se registraron rachas de viento de 3.0-8.4 km/h que pudieron influir en la fluctuación de la densidad del inóculo primario en las trampas del S (INIFAP, 2015). Habría que recheckar los datos del análisis y en especial la velocidad del viento para cada dirección de las trampas.

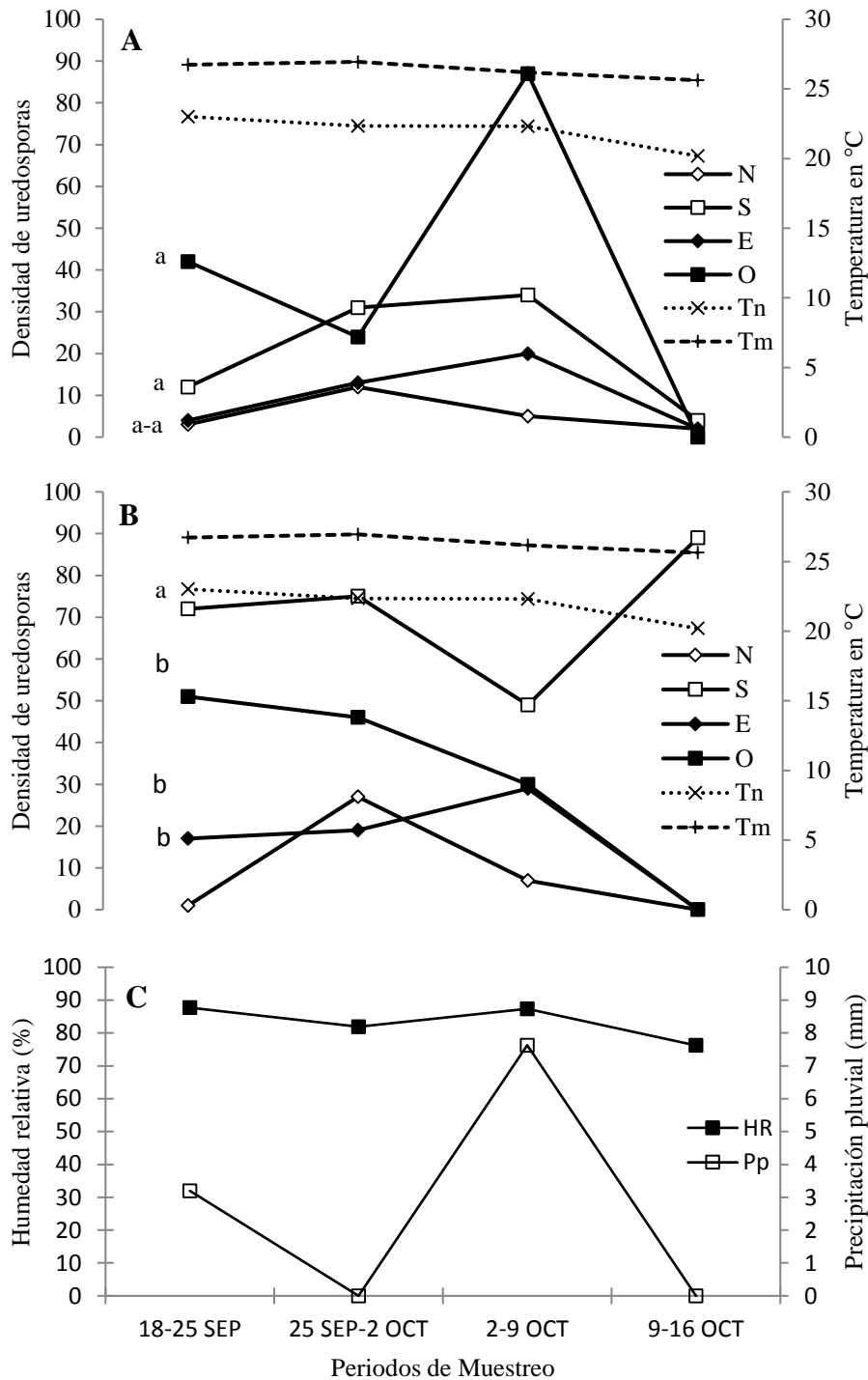
### **Forma grafica**

Por otro lado en forma gráfica, las densidades más bajas de inóculo en ambas alturas fueron del E y N (Figura 6A, B), y a ambas alturas (Figura 6A, B) la densidad del inóculo primario disminuyó a “cero” uredosporas en ultimo muestreo (9-16 Oct.). Esto a excepción de la densidad de inoculo del S, que por el contrario a 142 cm de altura se incrementó de 50 a 88 uredosporas trampeadas (Figura 6B). Esto fue probable que estuvo asociado a la biología del hongo en sus hospedantes alternos en esta dirección, y las condiciones ambientales [temperaturas de 19-25 °C (Figura 6B), HR de 76-88 %, Pp de 0-7 mm (Figura 6C); y que fueron óptimas para la infección (Levy, 2005)], y que también probablemente favorecieron las infecciones primarias que se registraron en este último trampeo de uredosporas (16 Oct.); o a los vientos del S que incrementarían su velocidad del viento.

Condiciones ambientales que pueden favorecer la enfermedad, dado que el cultivo de soya estaba en R5 (inicio de desarrollo de semilla), y lo que pudo favorecer aun el progreso de la enfermedad, dado que las hojas estaban verdes en esa etapa fenológica (observaciones personales).

Sin embargo desconocemos que otros factores pudieran tener efecto en la disminución del inóculo primario debido a que únicamente se evaluó un ciclo. Para poder explicar esto es necesario volver a repetir el experimento e incluir en el análisis las velocidades del viento, y que la altura de las trampas no sea interferida por el dosel del cultivo.

Para las variables Tn, Tm, Tx, VV, Pp y HR no se encontró ninguna correlación ( $\rho \geq 0.60$ ) por lo que no se describen en el presente estudio.



**Figura 6.** CEHUAS. Fluctuación del inóculo de *P. pachyrhizi*. **A)** Altura de 85 cm en cada uno de los puntos cardinales en los portaobjetos-trampa que estuvieron cubiertos por el dosel del cultivo a partir del segundo muestreo. **B)** Altura de 142 cm (no cubiertos por el dosel del cultivo) en cada uno de los puntos cardinales en los portaobjetos-trampa, durante el ciclo Primavera-Verano 2014 a partir del 18 de septiembre hasta la detección de las infecciones primarias en las hojas inferiores del cultivo de soya el 16 de octubre de 2014 con una incidencia del 0.22 % y severidad del 0.6 % en la escala de Godoy *et al.* (2006) y una altura del dosel del cultivo de 95 cm a partir de la fecha del segundo muestreo. **C)** Promedio de los valores de Pp y HR durante el periodo de muestreo; y A, B) Promedio de Tm (temperatura media) y Tn (temperatura mínima) (INIFAP, 2015).

**Cuadro 10.** Coeficiente de correlación entre la densidad del inóculo primario, y dos alturas de trampas y dirección del viento en el CEHUAS.

VARIABLES	$\rho$	p_value
<b><u>85 cm x DIP</u></b>		
Este (E)	0.94	< 0.0001**
Sur (S)	0.90	< 0.0001**
Oeste (O)	0.88	< 0.0001**
<b><u>142 cm x DIP</u></b>		
Norte (N)	0.77	< 0.0001**
O	0.89	< 0.0001**

$\rho$  = Coeficiente de correlación, **p\_value**= nivel de significancia, \*\*  $\alpha = 0.01$  Altamente significativo, **DIP**= Densidad de inóculo primario.

### 2.3.2.2.5. Análisis de componentes principales

La finalidad obtener los valores del coeficiente de correlación entre pares de variables fue para conocer el nivel de correlación existente entre la variable dependiente (densidad del inóculo primario) y las variables independientes Tx, Tn, Tm, Pp, HR, VV, DV y dos alturas de muestreo (85 y 142 cm). Al existir una alta correlación entre la variable dependiente y las variables independientes: DV y dos alturas de muestreo (Cuadro 10), se hizo un análisis de Componentes Principales, con el propósito de buscar otra información confiable relacionada a la densidad del inóculo primario. Como indicado:

*este análisis fue por instrucciones de la Asesora, Dra. Ma. del Pilar Rodríguez Guzmán, que no se respalda con ningún nivel de coeficiente de probabilidad y/o de significancia, y tampoco se encontraron en la literatura de fitopatología, artículos con este tipo de análisis.*

Así aunque con valores abajo del 50 %, se indicaron cuatro autovalores y los cuales en conjunto explicaron el 82 % de la variabilidad total (Cuadro 11), y que en forma individual tuvieron aún más bajos porcentajes de posible confiabilidad.

El primer componente principal quiso explicar el 41 % de la variación total, asociado a la altura de muestreo y la orientación de los portaobjetos-trampas.

El segundo componente principal trato de indicar el 17 % de la variación total y asoció a la PP. con efecto negativo en la densidad del inóculo primario de acuerdo a la altura de muestreo, y con

un efecto positivo sobre la densidad del inóculo primario las temperaturas y la orientación de las trampas.

El tercer componente principal se asoció débilmente a la temperatura y HR con un efecto negativo en la densidad del inóculo, mientras que la DV y la VV se asociaron de forma positiva con la densidad del inóculo primario, explicando así débilmente el 16 % de la variación total.

El cuarto componente se asoció aun con una menor posibilidad, a la altura de muestreo y a su orientación, explicando el 8 % (Cuadro 12).

**Cuadro 11.** Proporción de la variación explicada por cada uno de los componentes de acuerdo a la densidad del inóculo en cada punto cardinal de muestreo a 85 y 142 cm de altura en el CEHUAS durante el ciclo Primavera-Verano 2014.

Componente	Proporción ¶	Acumulada ✓
1	0.41	0.41
2	0.17	0.58
3	0.16	0.73
4	0.08	0.82

¶ Proporción de la variabilidad explicada por cada valor característico.

✓ Proporción acumulada de la variabilidad total explicada por los valores característicos.

**Cuadro 12.** Componentes principales de acuerdo a la densidad del inóculo primario en cada punto cardinal de muestreo a 85 y 142 cm de altura durante el ciclo Primavera-Verano 2014.

Variables	Componente principal			
	1	2	3	4
Precipitación (Pp)	0.07	-0.18	-0.09	-0.11
<u>Temperatura</u>				
máxima (Tx)	0.07	0.33	-0.32	-0.17
mínima (Tn)	0.20	0.22	-0.34	0.26
media (Tm)	0.13	0.36	-0.31	0.03
Velocidad del viento (VV)	-0.09	-0.05	0.31	0.35
Dirección del Viento (DV)	0.05	-0.09	0.42	0.31
Humedad relativa (HR)	0.18	-0.01	-0.31	0.20
Altura 85 cm	0.34	-0.22	-0.00	-0.09
Altura 142 cm	0.23	0.34	0.20	0.25
<u>Altura 85 cm</u>				
Este (E)	0.32	-0.16	0.07	-0.32
Norte (N)	0.22	0.33	0.30	-0.22
Oeste (O)	0.29	-0.29	-0.13	0.22



Sur (S)	0.34	- 0.02	0.13	- 0.24
<u>Altura 142 cm</u>				
E	0.36	- 0.14	0.00	0.05
N	0.21	0.33	0.30	- 0.25
O	0.26	0.17	0.06	<b>0.46</b>
S	- 0.31	0.30	0.08	0.01

Aunque con valores débiles debajo de 0.5, el análisis de Componentes Principales mostró las variables climatológicas de mayor importancia en relación a la densidad del inóculo presente en la región: la Pp y la temperatura en función de la VV y DV.

Sin embargo todos los valores estuvieron debajo de 0.5, por lo que fueron valores dudosos, y aunado a que el análisis por este método usado, no se respalda por niveles de probabilidad y/o significancia.

### **2.3.3. Sitio 2. La Resolana**

Las densidades de inóculo primario cuantificadas en este sitio de muestreo fueron muy pocas, fluctuó de 4-7 uredosporas.

De manera general (ambas alturas) el análisis de correlación identificó asociaciones significativas entre la densidad del inóculo primario muestreado en los puntos cardinales del sitio experimental del S y E ( $\rho = 0.74$  y  $\alpha < 0.0001$ ).

Altura 142 cm. Trampas individuales. Para conocer a que altura se dan estas asociaciones se realizó un análisis de correlación de acuerdo a la densidad de inóculo registrado en las trampas, su orientación y la altura de muestreo. Se encontró que la asociación entre la densidad del inóculo primario proveniente del N y O fue a 142 cm (Cuadro 13), lo que sugiere que estas DV acarrearón o transportaron el inóculo primario de la roya asiática en este sitio de muestreo aunque con baja  $p$  (0.6074). Se encontró además, que a esta altura la Tn estuvo relacionada con la densidad del inóculo primario de la roya asiática de la soya (Cuadro 13). Aunque hay que considerar que solo fueron 4-7 uredosporas trampeadas.

Altura de 85 cm. La correlación fue también del S y E que se dio a esta altura. Sin embargo, el coeficiente de correlación fue muy bajo ( $\rho = 0.57$  y  $\alpha = 0.0013$ ) por lo que podría haber poca

probabilidad de que el inóculo primario provenga de esta dirección. Uno de los factores que pudieron haber afectado la densidad del inóculo en los portaobjetos-trampa fue la altura de las plantas de soya llegando a los 105 cm por lo que los portaobjetos trampa fueron cubiertos por el dosel del cultivo e interfiriendo con los resultados, y que no permitieron compararlos con las trampas a la altura a 145 cm que estuvieron libres del dosel del cultivo. También considerando que el número de uredosporas trampeado (4-7) fue bajo para el análisis.

**Cuadro 13.** Coeficiente de correlación entre las variables en estudio y su relación con la densidad del inóculo primario a 142 cm de altura.

VARIABLES	$\rho$	p_value
<u>142 cm x DIP</u>		
Norte (N)	1.0000	< 0.0001**
Oeste (O)	1.0000	< 0.0001**
<u>Tn (Temperatura mínima) x DIP 142 cm</u>		
O	- 0.6074	0.0006**
N	- 0.6074	0.0006**

$\rho$ = Coeficiente de correlación, **p\_value** = nivel de significancia, \*\* =  $\alpha = 0.01$  Altamente significativo, **DIP**= Densidad de inóculo primario.

**Incidencia y severidad:** infecciones primarias

En la Resolana fue el 17 de Octubre, 2014. En esta fecha por primera vez se detectaron las infecciones primarias en las hojas inferiores de las plantas de soya, y según la escala de Godoy *et al.* (2006\*) (Figura 3.I) para severidad con:

incidencia del 0.22 %, y  
severidad del 0.6 % \*

**2.3.3.1. Análisis de componentes principales.** Como arriba indicado:

*este análisis fue por instrucciones de la Asesora, Dra. Ma. del Pilar Rodríguez Guzmán, que no se respalda con ningún nivel de coeficiente de probabilidad y/o de significancia, y tampoco se encontraron en la literatura artículos con este tipo de análisis.*

Aunque abajo del 50 % en cada caso, se determinaron cuatro valores característicos que en conjunto explicaron el 84 % de la variación total (Cuadro 14), y menor porcentaje aun en forma individual. Esto además aunado a que la densidad del inóculo primario fue bajo: 4–7 uredosporas trampeadas.

El primer componente principal está definido por las alturas de muestreo y la orientación de los portaobjetos-trampa y en conjunto explica el 41 % de la variación total. El segundo componente se asoció a la temperatura y a la altura de muestreo de acuerdo a la orientación de las trampas explicando el 21 % de la variación total. El tercer componente principal explica el 14 % de la variación total y está definido por la VV y la DV. Finalmente el cuarto componente principal explicando el 8 % de la variación total se encuentra la HR (Cuadro 14, 15).

**Cuadro 14.** Proporción de la variación explicada por cada uno de los componentes de acuerdo a la densidad del inóculo en cada punto cardinal de muestreo a 85 y 142 cm de altura en La Resolana durante el ciclo primavera-verano 2014.

Componente	Proporción ¶	Acumulada ✓
1	0.4154	0.4154
2	0.2131	0.6286
3	0.1473	0.7759
4	0.0932	0.8691

¶ Proporción de la variabilidad explicada por cada valor característico.

✓ Proporción acumulada de la variabilidad total explicada por los valores característicos.

**Cuadro 15.** Componentes principales de acuerdo a la densidad del inóculo primario en cada punto cardinal de muestreo a 85 cm (cubierto por dosel del cultivo) y 142 cm (libre del dosel del cultivo) de altura, en La Resolana durante el ciclo primavera-verano 2014.

Variables	Componente principal			
	1	2	3	4
Precipitación (Pp)	- 0.06	- 0.27	0.27	0.45
<u>Temperatura</u>				
máxima (Tx)	- 0.16	0.38	- 0.30	- 0.20
mínima (Tn)	- 0.32	<b>0.07</b>	- 0.23	- 0.09
media (Tm)	- 0.26	0.28	- 0.19	- 0.29
Velocidad del viento (VV)	0.07	- 0.12	0.35	- 0.60
Dirección del Viento (DV)	- 0.06	- 0.22	0.40	- 0.16
Humedad relativa (HR)	- 0.23	- 0.13	- 0.32	0.41
Altura 85 cm	0.19	0.45	0.21	0.17
Altura 142 cm	0.39	0.09	- 0.10	0.02

<u>Altura 85 cm</u>				
Norte (N)	0.00	0.00	0.00	0.00
Sur (S)	- 0.16	0.42	0.35	0.17
Este (E)	- 0.16	0.42	0.35	0.17
Oeste (O)	0.39	0.09	- 0.10	0.02
<u>Altura 142 cm</u>				
Norte	<b>0.39</b>	0.09	- 0.10	0.02
Sur	0.00	0.00	0.00	0.00
Este	0.00	0.00	0.00	0.00
O	<b>0.39</b>	0.09	- 0.10	0.02

### Diagnóstico de la roya

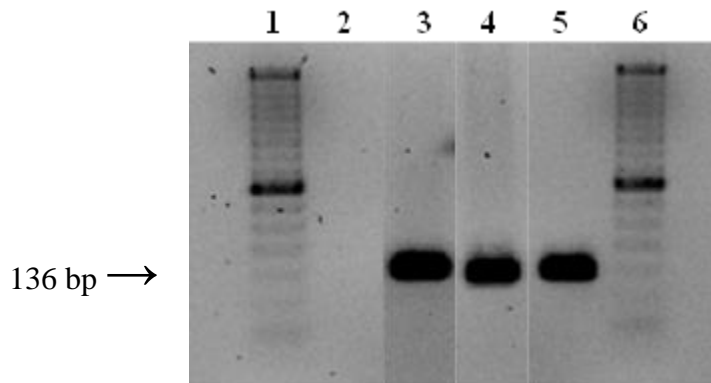
**2.3.4. Identificación morfológica.** Se identificó a *P. pachyrhizi* en los portaobjetos-trampas colocados y, en uredias en hojas, el tamaño de las uredosporas fue de (17.5–)20–32.5(–37.5) x 15–22.5(–25)  $\mu\text{m}$ , sésiles, ovoides a elipsoides, levemente y densamente equinuladas, de color amarillo pálido a incoloros, y con tres poros ecuatoriales. Estas características morfológicas fueron en acorde con las reportadas por Ono *et al.* (1992) que indicaron mediciones de 18-34 x 15-24  $\mu\text{m}$  para *P. pachyrhizi*.

### 2.3.5. Características moleculares

1. Portaobjetos-trampa: por las técnicas moleculares estándares (White *et al.*, 1990) la identificación molecular se complicó, debido a la baja densidad del inóculo primario en las trampas de viento, y al tratar de extraer las uredosporas de los portaobjetos-trampa por el adhesivo utilizado (excesiva vaselina donde estaban inmersas las uredosporas). Por los protocolos especializados de Calderon *et al.* (2002a,b) se estandarizaron otras técnicas moleculares y se logró una secuencia que correspondió a *P. pachyrhizi* según el BLAST en NCBI, y que se depositó en NCBI: número de accesión **KX840065**.

2. Material vegetal (los síntomas fueron como descritos arriba): sí se logró caracterizar a partir de tejido sintomático de primeras infecciones, y por PCR con primers específicos, Ppm1 (forward) y Ppa2 (reverse) (Figura 7) a *P. pachyrhizi* de acuerdo a la metodología de Frederick *et al.*

(2002). Al momento se tuvieron dos secuencias. Una de muestras de tejido vegetal sintomáticas colectados el 6 de noviembre de 2014 en el CEHUAS se logró secuenciar por ITS-rDNA y se depositó en NCBI (Número de accesión: **KX534086**), y otra secuencia fue de muestra del 24 de octubre de 2014 colectado en La Resolana (Número de accesión: **KX534087**) que también se depositó en NCBI.



**Figura 7.** Gel de agarosa con productos amplificados por PCR con primers específicos para *P. pachyrhizi*. Carriles 1 y 6, marcador (100 bp); Carril 2, control negativo; Carril 3, producto de PCR de roya de la soya en muestras de tejido sintomático del 24 de Octubre del 2014 (La Resolana); Carril 4, producto de PCR de roya de la soya en muestras tejido sintomático del 6 de Noviembre del 2014 (CEHUAS); Carril 5, control positivo.

## Discusión General

La detección del inóculo primario de la roya asiática de la soya en el CEHUAS en la segunda quincena del mes de septiembre concuerda con lo reportado por Guerrero-Parra *et al.* (2012) en el que realizaron detecciones de roya asiática con trampas tipo Hirst (Hirst, 1952) en el municipio de Altamira, Tamaulipas a partir de Septiembre durante el 2010, y no difiere tanto con la detección realizada en la última semana de septiembre en La Resolana en este estudio, aunque la densidad del inóculo primario en este sitio fue relativamente baja, 4-7 uredosporas detectadas hasta la aparición de las infecciones primarias. Sin embargo, Guerrero-Parra *et al.* (2012) no cuantificaron la densidad del inóculo detectado y tampoco determinaron la dirección de viento donde tuvo mayor densidad de inóculo debido a que la detección fue solo por análisis moleculares en base al peso molecular de la banda de ADN con primers específicos; y en viento

detectaron las uredosporas de *P. pachyrhizi* cinco semanas antes de que se observaran signos de la enfermedad en el cultivo de soya con trampas tipo Hirst (muy costosas). Mientras que en este estudio con trampas de impacto a base de portaobjetos se logró detectar la presencia del inóculo primario de la roya asiática cuatro semanas antes de que se observaran infecciones primarias de la enfermedad dentro del cultivo. Esto a pesar de usar trampas rústicas (portaobjetos) y muy económicas. Por lo que el muestreo del inóculo primario tiene mayor importancia debido a que se puede anticipar la presencia de la roya asiática de la soya a diferencia con las parcelas centinelas (Estévez de Jensen *et al.*, 2009).

Por otra parte, detecciones en La Resolana a finales del mes de Septiembre, coincidieron con lo reportado por Hipólito-Cruz *et al.* (2015) en los municipios de Ébano y Tamuín en San Luis Potosí donde la fluctuación de uredosporas incrementó de manera significativa a finales del mes de septiembre del año 2013 en soya con etapas fenológicas R4 (vainas de 2 cm) y R5 (formación de semilla) detectados en aire a través de trampas pasivas (tipo Hirst) y se le atribuyó a una inestabilidad atmosférica asociada con la tormenta Ingrid que propicio temperaturas en el rango óptimo de desarrollo de la enfermedad (15 a 28 °C) de acuerdo a Levy (2005) y Bonde *et al.* (2006). Sin embargo, en relación con el estudio que aquí se presenta, existieron diferencias en la etapa fenológica del cultivo en R3 (una vaina de 0.5 cm en algún nudo superior), y las temperaturas predominantes en sur de Tamaulipas que fueron de 22 a 33 °C y la densidad de uredosporas fue incrementando cuando las temperaturas mínimas y máximas oscilaban entre 20 y 32 °C (Figura 6).

Por otro lado, Hipólito-Cruz *et al.* (2015) asociaron en la disminución de uredosporas en el aire a Tn promedio de 16.6 °C y a la ausencia del cultivo durante el mes de diciembre. Algo similar a lo observado de acuerdo a las correlaciones encontradas en el CEHUAS donde Tn promedio de 15.7 °C se asoció a la disminución del inóculo primario de la roya asiática de la soya. También, la disminución del inóculo primario desde el 9 de octubre del 2014, se podría asociar a las características propias de la uredospora ya que son de tamaño pequeño, de 18-34 x 15-24 µm (Ono *et al.*, 1992), y que tienen una sedimentación lenta por el posible poco peso debido al tamaño y delgada pared celular, a menos que sean levantados por turbulencias de viento (Krupa *et al.*, 2006) comunes en la región de este estudio. Esto debido al fenómeno de vientos fuertes del “Norte” que anualmente predominan en la región desde principios del Otoño (finales de

Septiembre) hasta finales de la primavera (Marzo 21) (<http://www1.inecol.edu.mx/costasustentable/esp/pdfs/Publicaciones/Dunas/Climas.pdf>). Con respecto a las alturas de muestreo, Hipólito-Cruz *et al.* (2015) no encontraron relación con el número de uredosporas, lo que difirió con lo observado en el CEHUAS donde las correlaciones mostraron que a 142 cm de altura existió mayor densidad de inóculo y estuvieron libres del dosel del cultivo.

En futuros estudios abra que enfatizar en la velocidad del viento y el fenómeno del “norte” que son vientos fuertes del norte que llegan a través del “noreste” y que al parecer no continuamente se relacionaron con la dispersión de uredosporas de *P. pachyrhizi* en el sur de Tamaulipas.

## 2.4. CONCLUSIONES

La detección del inóculo primario de la roya asiática fue principalmente en viento desde un mes antes del inicio de enfermedad en el cultivo, y arribó sin directa especificación, con vientos del S, O, y N. A 142 cm de altura se detectó en viento la mayor densidad del inóculo.

En lluvia se diagnosticó la presencia de *P. pachyrhizi* 42 días antes de la detección de las infecciones primarias por la presencia de una sola espora trampeada.

El inóculo primario se detectó en el espacio aéreo del cultivo pero sin desarrollo de la enfermedad, que fue hasta la última fecha de muestreo con incidencia baja (0.22 %) y severidad mínima del 0.6 %, en un cultivo con fenología en etapa reproductiva.

Así se demostró la presencia del inoculo primario y se infirió que las condiciones microclimáticas dentro del cultivo no fueron propicias para la infección por las uredosporas, hasta que las temperaturas fluctuaron de 19 a 25 °C con una humedad relativa que también fluctuó del 76 al 88 %.

Al parecer este es el primer estudio que mostró que la detección del inóculo primario, como esperado, estuvo desfasado con la infección inicial del cultivo, y en demostrar una relación entre la densidad del inóculo primario presente en la zona sur de Tamaulipas y varias simultaneas direcciones del viento.

En futuros estudios se enfatizara en la velocidad del viento para definir qué dirección del viento es la real importante.

El análisis de Componentes Principales invirtió tiempo sin límites y no fueron estadísticamente confiables.

## 2.5. LITERATURA CITADA

- Abawi, G. S., and R. G. Grogan. 1975. Source of primary inoculum and effects of temperature and moisture on infection of beans by *Whetzelinia sclerotiorum*. *Phytopathology* 65:300–309.
- Agrios, N. G. 2005. *Plant Pathology*. 5<sup>th</sup> Ed. Elsevier Academic Press. San Diego, CA, USA. 922 p.
- Aylor D. E. 1979. Dispersal in Time and Space: Aerial Pathogens. *In: Plant Disease. An Advanced Treatise*. (ed.) Horsfall G., J. and B. E. Cowling. Vol. II. How Disease Develops in Populations. Academic Press. 430 p.
- Barnes, C. W., L. J. Szabo, and V. C. Bowersox. 2009. Identifying and quantifying *Phakopsora pachyrhizi* spores in rain. *Phytopathology* 99:328–338.
- Bonde, M. R., S. E. Nester, C. N. Austin, C. L. Stone, R. D. Frederick, G. L. Hartman, and M. R. Miles. 2006. Evaluation of virulence of *Phakopsora pachyrhizi* and *P. meibomia* isolates. *Plant Dis.* 90:708–716.
- Calderon, C., E. Ward, J. Freeman, S. J. Foster, and H. A. McCartney. 2002a. Detection of airborne inoculum of *Leptosphaeria maculans* and *Pyrenopeziza brassicae* in oilseed rape crops by polymerase chain reaction (PCR) assays. *Plant Pathol.* 51:303–310.
- Calderon, C., E. Ward, J. Freeman, and A. McCartney. 2002b. Detection of airborne fungal spores sampled by rotating-arm and Hirst-type spore traps using polymerase chain reaction assays. *Journal of Aerosol Science* 33:283-296.
- Cárcamo-Rodríguez, A., A. R. Solano-Báez, E. Maldonado-Cruz, and P. García-Zalazar. 2013. Primer reporte de la roya asiática de la soya (*Phakopsora pachyrhizi*) en frijol negro en Altamira, Tamaulipas, México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 31:S99.
- Cárcamo-Rodríguez, A., J. A. Rios, and J. R. Hernández. 2006. First report of asian soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* from Mexico. *Plant Dis.* 90:1260–1260.
- Castillo M., L. E. 2007. *Introducción al SAS® para Windows*. Tercera edición. Departamento de



- Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México, México. p: 209-275.
- Choi, J. J., N. W. Alkharouf, K. T. Schneider, B. F. Matthews, and R. D. Frederick. 2008. Expression patterns in soybean resistant to *Phakopsora pachyrhizi* reveal the importance of peroxidases and lipoxygenases. *Funct. Integr. Genomics*. 8:341–359.
- Crous, P. W., G. J. M. Verkley, J. Z. Groenewald, and R. A. Samson. 2009. *Fungal Biodiversity*. CBS KNAW. Fungal Biodiversity Centre. Utrecht, The Netherlands. 269 pp.
- del Ponte, E. M., C. V. Godoy, X. Li, and X. B. Yang. 2006. Predicting severity of asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. *Phytopathology* 96:797–803.
- Estévez de Jensen, C., G. Wisler, K. Harmon, B. Vega, D. Viteri, and J. Hernández. 2009. Monitoring *P. pachyrhizi* rust in Puerto rico. *J. Agric. Univ. P. R.* 93:125–137.
- Fehr, W. R., C. E. Caviness, D. T. Burmood, and P. J. S. 1971. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. *Crop Sci.* 11:929–931.
- Frederick, R. D., C. L. Snyder, G. L. Peterson, and M. R. Bonde. 2002. Polymerase chain reaction assays for the detection and discrimination of the soybean rust pathogens *Phakopsora pachyrhizi* and *P. meibomia*. *Phytopathology* 92:217–227.
- Godoy, C. V., L. J. Koga, and M. G. Canteri. 2006. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. *Fitopatologia Brasileira* 31:063-068.
- Goellner, K., M. Loehrer, C. Langenbach, U. Conrath, E. Koch, and U. Schaffrath. 2010. *Phakopsora pachyrhizi*, the causal agent of asian soybean rust: pathogen profile. *Mol. Plant Pathol.* 11:169–177.
- Guerrero-Parra, H. A., A. P. Terán-Vargas, R. Reyes-Montes, A. Cárcamo-Rodríguez, S. Gómez-Arroyo, and C. Calderón-Ezquerro. 2012. Estudio Aerobiológico y detección Molecular de uredosporas de *Phakopsora pachyrhizi* causante de la roya asiática en cultivos de soya en México. *In: Congreso Nacional de Genética*. (eds.) Valencia Q., R., Sánchez A., J., Villalobos P., R. Gómez A., S., y Amescua G., C. Mazatlán, Sinaloa, México. 3-5 octubre. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 28:70.
- Hartman, G. L., M. R. Miles, and R. D. Frederick. 2005. Breeding for resistance to soybean rust. *Plant Dis.* 89:664–666.
- Hernández-Hernández, M. del R., A. Cárcamo-Rodríguez, y E. Luna-Martínez. 2014. Primer reporte de la fase sexual de la roya asiática de la soya (*Phakopsora pachyrhizi*) en México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 32:S58.
- Hipólito-Cruz, G., L. Rodríguez-Tenorio, C. Aldama-Aguilera, M. Algara-Siller, C. Calderón-Ezquerro, D. E. Flores-Jiménez, y R. González-Gómez. 2015. Monitoreo de *Phakopsora* spp. con trampas pasivas de esporas en San Luis Potosí. *Rev. Mex. Fitopatol. Suplemento* 33:S122.

- Hirst, J. M. 1952. An automatic volumetric spore trap. *Annals of Applied Biology* 39:257-265.
- INIFAP (Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2015. Red de estaciones del INIFAP. Disponible en: <http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/#> (Consulta: agosto, 2015).
- Isard, S. A., J. M. Russo, and E. D. DeWolf. 2006. The establishment of a national pest information platform for extension and education. *Plant Heal. Prog.* :1–4.
- Kirk, P.M., P.F. Cannon, J. C. David and J. A. Stalpers. 2008. *Dictionary of the Fungi*. CAB International. Oxon, UK. 655 p.
- Krupa, S., V. Bowersox, R. Claybrooke, C. W. Barnes, L. Szabo, K. Harlin, and J. Kurle. 2006. Introduction of asian soybean rust urediniospores into the midwestern United States—a case study. *Plant Dis.* 90:1254–1259.
- Lacey, J. 1996. Spore dispersal — its role in ecology and disease: the British contribution to fungal aerobiology. *Mycol. Res.* 100:641–660.
- Levy, C. 2005. Epidemiology and chemical control of soybean rust in Southern Africa. *Plant Dis.* 89:669–674.
- Li, S., J. R. Smith, J. D. Ray, and R. D. Frederick. 2012. Identification of a new soybean rust resistance gene in PI 567102B. *Theor. Appl. Genet.* 125:133–142.
- Maldonado, M. N., G. L. Ascencio, y J. V. Ávila. 2007. Guía para cultivar soya en el sur de Tamaulipas. Folleto para Productores Núm. 2. Campo Experimental Sur de Tamaulipas, CIRNE-INIFAP. Altamira, Tam., México. 83 p.
- McCartney, H. A., B. D. L. Fitt, and D. Schmechel. 1997. Sampling bioaerosols in plant pathology. *J. Aerosol Sci.* 28:349–364.
- Natti, J. J. 1971. Epidemiology and control of bean white mold. *Phytopathology* 61:669–674.
- Ono, Y., P. Buriticá, and J. F. Hennen. 1992. Delimitation of *Phakopsora*, *Physopella* and *Cerotelium* and their species on Leguminosae. *Mycol. Res.* 96:825–850.
- Ostry, M. E., and T. H. Nicholls. 1982. A technique for trapping fungal spores. Research Note NC-283. St. Paul, MN: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station. USA.
- SAS Institute. 2002. SAS Software Version 9.00. SAS Institute. Cary North Carolina. USA.
- Schneider, R. W., C. A. Hollier, H. K. Whitam, M. E. Palm, J. M. McKemy, J. R. Hernández, L. Levy, and R. DeVries-Paterson. 2005. First report of soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* in the continental United States. *Plant Dis.* 89:774.
- SIAP. 2014. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre de la producción

agrícola por estado. [www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/](http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/). Accessed 10 February 2015.

White, T. J., T. Bruns, S. Lee, & J. Taylor. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. *In*: M. A. Innis, D. H. Gelfand, J. J. Sninsky & T. J. White (Eds.). *PCR Protocols: a guide to methods and applications* (pp. 315–322). San Diego: Academic Press.

Yáñez-Morales, M. de J., I. Alanís-Martínez, J. M. Soto-Rocha, D. K. Malvick, J. E. Kurle, C. M. Floyd, and S. V. Krupa. 2009. Soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* detected in the state of Campeche on the Yucatan Peninsula, Mexico. *Plant Dis.* 93:847–847.

### **CAPITULO III. DETECCIÓN AÉREA DEL INÓCULO SECUNDARIO DE LA ROYA ASIÁTICA (*Phakopsora pachyrhizi*) DE LA SOYA (*Glycine max*) EN EL SUR DE TAMAULIPAS**

#### **RESUMEN**

La roya asiática de la soya (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow) es una de las enfermedades más devastadoras para el cultivo de soya. En México tiene presencia en 10 estados, es una amenaza para la producción de semilla de soya. En el sur de Tamaulipas afecta además de soya, frijol y jícama. Por ello el objetivo fue detectar la densidad y fluctuación del inóculo secundario aéreo de *P. pachyrhizi* en lluvia y viento, correlacionando con las variables climatológicas y con la enfermedad en campo. El estudio se hizo de octubre 2014 a mayo de 2015 en cuatro sitios del Mpio. de Altamira, Tam.: Campo Experimental CEHUAS-INIFAP y en La Resolana en un área de 2.2 ha durante el ciclo primavera-verano 2014, y dos sitios ubicados en el CEHUAS durante el ciclo otoño-invierno en un área de 0.332 ha en las que se estableció la variedad Huasteca 200. El monitoreo del inóculo en lluvia fue con pluviómetros-trampa ubicados en cada lado de la parcela, y el inóculo aéreo fue con portaobjetos-trampa colocados verticalmente a dos alturas, orientados a cada punto cardinal. Evaluando cada semana la incidencia y severidad de la enfermedad en folíolos del cultivo. En lluvia se detectó 21 uredosporas en el CEHUAS durante los dos ciclos agrícolas, y cinco uredosporas en La Resolana durante el ciclo primavera-verano. Las infecciones primarias se hicieron presentes cuando las temperaturas mínimas y máximas fueron de 18 °C a 25 °C afectando de forma positiva la densidad del inóculo la región sur de Tamaulipas. Por otra parte las temperaturas mínimas de 17.3 °C y medias de 21.2 °C se asociaron a la severidad e incidencia de la enfermedad respectivamente, mientras que temperaturas mínimas de 15.41 °C se asociaron a la disminución del inóculo secundario durante el ciclo primavera verano y a la temperatura media únicamente durante el ciclo otoño-invierno. Las direcciones con mayor densidad de inóculo durante los dos ciclos agrícolas fueron las del norte, sur y este, y se asociaron a la severidad e incidencia en ambas alturas con temperaturas medias y máximas de 19.7 y 25.8 °C respectivamente, mientras que la mayor incidencia y severidad se observó durante el ciclo otoño-invierno siendo mayor en el 2014 con respecto al 2015.

### 3.1. INTRODUCCIÓN

Para su “deposición por impacto”, las uredosporas de *P. pachyrhizi* son transportadas por corrientes de viento de pocos metros a cientos de millas en tan solo unos días (Tremblay *et al.*, 2010). El mecanismo “deposición húmeda” son las precipitaciones (Isard *et al.*, 2011) y de acuerdo a su intensidad de la lluvia será la cantidad de inóculo retenido en el dosel de las plantas (Dufault *et al.* 2010). El inóculo primario causa las infecciones primarias que darán origen a un nuevo inóculo en el cultivo denominado inóculo secundario, ocasionando así infecciones secundarias (Agrios, 2005). La roya asiática es una enfermedad policíclica, y después de la infección primaria existen varias infecciones secundarias. Así, mientras la maleza Kudzu (*Pueraria lobata*) ofrece el inóculo primario para las epidemias en soya, el cultivo de soya ofrece inóculo secundario para el aumento y prevalencia de la enfermedad en Kudzu (Christiano y Scherm, 2007) y cultivo de soya. Como respuesta a las variables climatológicas, en cada estación del año se causa variabilidad en el patógeno junto a las condiciones de invernación (Sanatkar *et al.*, 2015) y ejercen una presión de selección de rasgos en el patógeno, como el periodo infeccioso y los patrones de propagación espacial (Boerlijst y Van Ballegooijen, 2010), y han sido base de modelos de predicción de enfermedades y utilizado en la toma de decisiones (Garrett *et al.*, 2016). El conocimiento de la dispersión espacial y temporal de fitopatógenos es fundamental para la comprensión y control de epidemias, por lo que el muestreo de propágulos en Aerobiología es importante en los estudios de dispersión de las enfermedades (McCartney *et al.*, 1997). El establecimiento de parcelas centinelas ha sido de gran utilidad en el monitoreo de *P. pachyrhizi* (Isard *et al.*, 2006) y puede ser sustituida por el trampeo de uredosporas (inóculo primario y secundario) y con un menor costo (Isard *et al.*, 2011). La observación del movimiento y el desarrollo de la enfermedad y su epidemiología a través del monitoreo ha permitido la predicción de nuevas epidemias (Subbarao *et al.*, 2015). De aquí la importancia de conocer la fluctuación del inóculo secundario de *P. pachyrhizi* en lluvia y viento y su densidad. Por lo que se establecieron los siguientes objetivos:

1. Detectar la presencia y fluctuación del inóculo aéreo secundario de *P. pachyrhizi* en lluvia y viento del sur de Tamaulipas,

2. Correlacionar la densidad del inóculo secundario presente en el ambiente con la incidencia y severidad de la roya asiática de la soya y las posibles variables climatológicas de humedad relativa (HR), temperatura mínima (Tn), media (Tm) y máxima (Tx), precipitación (Pp), dirección del viento (DV) y velocidad del viento (VV) del sur de Tamaulipas.

Con la hipótesis de que la presencia y fluctuación del inóculo secundario de la roya asiática de la soya en lluvia y viento se encuentran influenciadas por la presencia de la enfermedad en campo y las posibles variables climatológicas del sur de Tamaulipas.

Como indicado en Cap. II, este estudio se desarrolló considerando que: en el sur de Tamaulipas anualmente se presenta el fenómeno de vientos fuertes denominados “nortes”. La región es una zona de transición clasificada de Semiárida-subhúmeda a Cálida-subhúmeda con vientos polares del Norte (a través de Canadá y Estados Unidos), de ahí que el fenómeno toma el nombre de “nortes”. Estos fuertes vientos se presentan durante los meses desde inicio del Otoño (finales de Sep.) hasta finales del Invierno (Marzo). Son vientos fuertes e intensos que a través del Noreste invaden cada año gran parte de las costas del Golfo de México (<http://www1.inecol.edu.mx/costasustentable/esp/pdfs/Publicaciones/Dunas/Climas.pdf>) y donde se ubica el sur de Tamaulipas de este estudio y así, estos vientos en Aerobiología, tienen directa relación con la dispersión de esporas, y lo que motiva la conducción del estudio y su factibilidad.

## **3.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.2.1. Localización de sitios experimentales del inóculo secundario**

a) Para conocer la fluctuación del inóculo secundario durante el ciclo Primavera-Verano 2014, se continuó con el monitoreo de las uredosporas en lluvia y viento dentro de las dos parcelas establecidas para la detección del inóculo primario en los dos sitios anteriores del Cap. II y que fueron:

Sitio 1: CEHUAS (continuación Cap. II), y cultivo en R3 (reproductivo).

Sitio 2: La Resolana (continuación Cap. II), y cultivo en R2 (reproductivo).

**b)** Se establecieron además otras dos parcelas para el estudio del inóculo secundario durante el ciclo Otoño-Invierno 2014 - 2015:

Sitio 3: CEHUAS. Periodo del cultivo fue del 26 de Septiembre del 2014 al 3 de Enero del 2015. Las evaluaciones de uredosporas fueron a partir del 20 de noviembre, con un cultivo en R2 (reproductivo), al 31 Dic. 2014. Fecha de siembra ya no autorizada en la región por su esperado alto daño por la roya, y usada en este estudio como cultivo-trampa.

Sitio 4: CEHUAS. Periodo del cultivo fue del 17 de febrero al 30 abril de 2015 y las evaluaciones de uredosporas fueron a partir del 12 de Marzo, con un cultivo en V4 (vegetativo). Fecha de siembra no comercial y no autorizada en la región y usada como cultivo-trampa.

Estas ambas parcelas se establecieron en un área de 0.332 ha con la variedad de soya Huasteca 200 a una densidad de 22 plantas por metro lineal, después de un rastreo y surcado de 76 cm (Maldonado *et al.*, 2007).

**c)** Adicionales observaciones. Estas se hicieron en las llamadas “plantas voluntarias” y que es la semilla de soya que a la cosecha se queda en el suelo y que en invierno germina y crecen las plantas achaparradas ( $\pm$  30 cm altura) y entonces se consideran maleza. La ubicación del terreno fue el mismo del Sitio 3, después de terminado el ciclo de ese cultivo en 31 de diciembre 2014, y que nacieron entonces las plantas voluntarias.

Sitio 5. CEHUAS, cultivo en R5 (reproductivo) y observaciones del 24 de Marzo, 2015

**d)** Otras observaciones. Se hicieron en una maleza desconocida localizada en SLP.

Sitio 6. San Luis Potosí (SLP), maleza en floración y observaciones en 24 Marzo, 2015

En los sitios 1-2 se continuó con las trampas instaladas, y en los sitios 3-4 se instalaron otras trampas. Esto para detectar y cuantificar el Inóculo Secundario de *P. pachyrhizi* en lluvia y viento y que fue posterior a la aparición de las infecciones primarias dentro de las parcela en estudio (Cap. II, sitios 1 y 2). Todo lo cual con la finalidad de encontrar alguna relación entre la densidad del inóculo, las posibles variables climatológicas, y la incidencia y severidad de la enfermedad en campo en el sur de Tamaulipas.

### **3.2.2. Monitoreo aéreo del inóculo secundario: lluvia y viento**

El monitoreo se hizo de acuerdo a la metodología descrita en el Cap. II para la detección del inóculo primario empleando los mismos pluviómetros-trampa (para lluvia) y portaobjetos-trampa (para viento).

*El uso de pluviómetros de boca angosta se continuaron usando por decisión unilateral en campo del Asesor Externo: Dr. Antonio Palemón Terán Vargas.*

#### Colocación de pluviómetros

-Para Sitios 1 y 2, se continuó con los ya establecidos.

-Para Sitio 3, su colocación fue el 20 de noviembre de 2014 del ciclo Otoño-Invierno, con cultivo en R2 (una flor abierta en uno de los nudos superiores),

-Para Sitio 4, el 10 de marzo del 2015 en el con un cultivo en V4 [estado vegetativo avanzado con cuarto nudo (tercera hoja trifoliada totalmente desarrollada anterior al nudo de la segunda hoja trifoliada) (Fehr *et al.*, 1971)].

### **3.2.3. Incidencia y severidad**

Para la detección del incremento de las Infecciones Secundarias se evaluaron semanalmente las hojas como indicado en Cap. II, a partir de:



Sitio 1: un cultivo en R3 (estado reproductivo: una vaina de 0.5 cm de largo en un nudo superior) del 18 de Octubre al 20 de Noviembre 2014,

Sitio 2: un cultivo R2 (estado reproductivo: una flor abierta en uno de los dos nudos superiores) el 19 de Octubre al 20 Nov. de 2014,

Sitio 3: cultivo en R2 (estado reproductivo: una flor abierta en uno de los dos nudos superiores) el 20 de noviembre de 2014 al 31 diciembre 2014.

Sitio 4: cultivo en V4 (estado vegetativo con “n” nudos) el 12 de marzo de 2015.

Sitio 5: 12 de marzo 2015 (plantas voluntarias)

**Los datos tomados fueron** (dar número de plantas como indicado en Cap. II):

**a)** Incidencia: porcentaje de hojas enfermas respecto al total de hojas en cada tercio (inferior, medio y superior).

**b)** Severidad. Se evaluó empleando la escala propuesta por Godoy *et al.* (2006) (Figura 3.I). Esto considerando el promedio del porcentaje (área visual) foliar enfermo con respecto al porcentaje total de foliolos evaluados en cada tercio de la planta.

#### **3.2.4. Identificación morfológica**

Para identificar la roya a nivel de especie se hizo como arriba descrito en Cap. II por morfología y molecular, y además para diferenciar entre *P. pachyrhizi* de *P. meibomiae* se revisaron minuciosamente las muestras sintomáticas prensadas en busca de la fase sexual, telias con teliosporas, ya que es la única forma de diferenciar ambas especies de acuerdo con Ono *et al.* (1992).

## Análisis moleculares

1. Para signos en hojas fue como indicado en Cap. II.
2. Para uredosporas en portaobjetos-trampa fue con previa eliminación de la vaselina-hexano en que estaban inmersas las uredosporas y con los reactivos usados por Calderon *et al.* (2002b), seguido de extracción del ADN, PCR con los primers específicos para *P. pachyrhizi* (Ppm1 y Ppa2) (Frederick *et al.*, 2002), y el producto de PCR se clono con el plasmido 'pGEM-T' en el Instituto de Neurobiología de la UNAM ([http://www.inb.unam.mx/unidades/molecularyanalitica/pcr\\_clona.html](http://www.inb.unam.mx/unidades/molecularyanalitica/pcr_clona.html)), se analizaron las secuencias con DNASTAR software, y depositaron las secuencias en NCBI.

### 3.2.5. Análisis estadístico

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis estadístico como se describió en el Capítulo anterior, y se incluyeron dos nuevas variables (incidencia y severidad) para establecer su relación con la densidad del inóculo secundario y las posibles variables climatológicas del sur de Tamaulipas.

*Los análisis de Componentes Principales como indicado en Cap. II, fueron por instrucción directa de la Asesora, Dra. Ma. del Pilar Rodríguez Guzmán, y que no se respaldan con ningún nivel de coeficiente de probabilidad y/o de significancia, y tampoco se encontraron en la literatura de fitopatología, artículos con este tipo de análisis.*

## 3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.3.1. Inóculo Secundario: lluvia

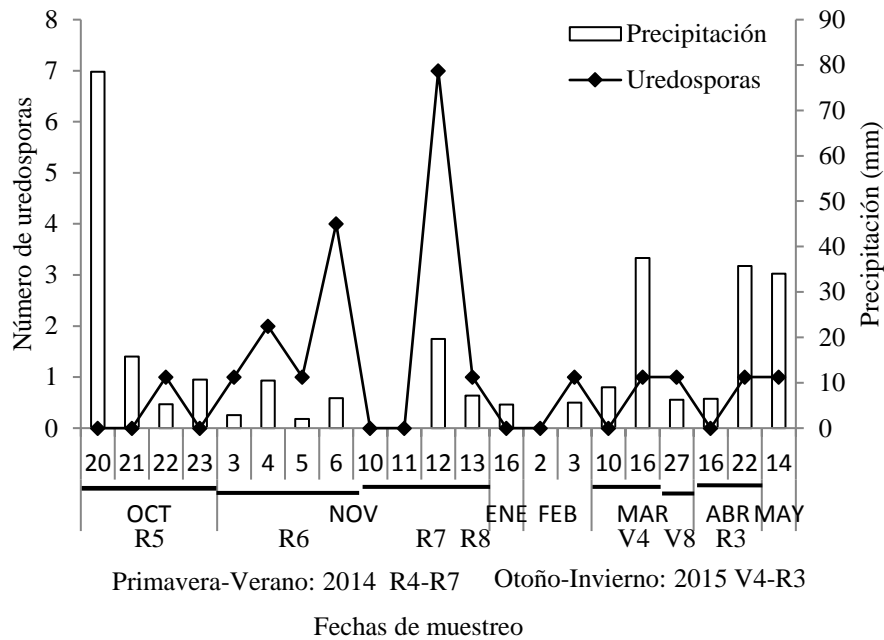
#### 3.3.1.1. CEHUAS: Sitios 1 y 4.

La detección del inóculo secundario en lluvia a partir de pluviómetros-trampa después de la detección de las infecciones primarias resultó positiva. Se analizaron 21 muestras de lluvia de las cuales 12 resultaron con uredosporas de *P. pachyrhizi* (Figura 8) aunque fueron muy pocas, principalmente una uredospora por muestreo en evento de lluvia de 10 mm, y hasta siete uredosporas en evento de lluvia de 80 mm (Figura 8). Por ello, probablemente no se encontró

ninguna correlación entre la densidad del inóculo secundario (uredosporas trampeadas) y la precipitación.

Por otra parte, el número de detecciones en los pluviómetros-trampa fue constante a finales del mes de octubre a noviembre del 2014 y de febrero a mayo del 2015, aunque principalmente una uredospora por muestreo. Este inóculo secundario después de la detección de las infecciones primarias en Cap. II.

En agua de lluvia Isard *et al.* (2011), también reportaron pocas detecciones positivas en agua de lluvia recolectados e USA y Canadá. Aunque Krupa *et al.* (2006) reporta detecciones de uredosporas de *P. pachyrhizi* en lluvia a finales de junio y julio. Por su parte Barnes *et al.* (2009) reportaron un incremento en las detecciones en lluvia de *P. pachyrhizi* a partir de agosto en la parte central de USA durante el 2005 y 2006.



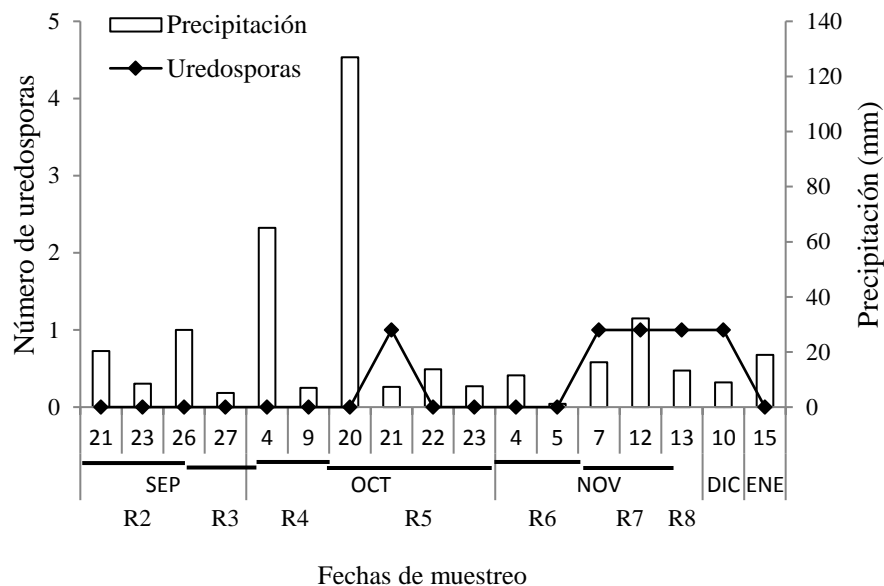
**Figura 8.** Fluctuación de la precipitación y densidad del inóculo secundario de *P. pachyrhizi* detectados en agua de lluvia, a partir de pluviómetros-trampa en Altamira, Tamaulipas en Sitio 1 (Primavera-Verano 2014) y Sitio 4 (Otoño-Invierno 2014-2015).

En comparación con los resultados del inóculo primario en Cap. II donde hubo una nula detección de uredosporas en los pluviómetros-trampa, a pesar de que la densidad del inóculo en viento vario de 92-165 uredosporas en CEHUAS en los portaobjetos-trampa (Cap. II; Figura 4). Podría existir cierta relación con la densidad del inóculo y su deposición por la Pp, pero no hubo correlación. Al parecer a mayor Pp (mm) en cada muestreo, mayor probabilidad de deposición de uredosporas, siempre y cuando las uredosporas estén en el aire. Aunque también hay que considerar que el diámetro de los pluviómetros fue reducido y entonces fue un factor de interferencia. También habría que considerar que las Pp fueron mayores en relación al inoculo secundario, con respecto al primario (Cap. II; Figura 4 y 6) con cero uredospora.

### **3.3.1.2 Sitio 2: La Resolana**

Para este sitio de muestreo se analizaron 17 muestras de lluvia (Figura 9) y en cinco de ellas se detectó la presencia del inóculo secundario de *P. pachyrhizi*, solo una uredospora por muestreo, y con Pp mayor, 25 mm. Sin embargo, en el análisis de correlación la asociación de la densidad del inóculo y la Pp fue baja ( $r= 0.59$ ), probablemente debido al número reducido de repeticiones por evento de Pp, a las Pp esporádicas, y/o a la reducida cantidad de datos analizados, y bajo número de uredosporas por evento (solo una) pero fue significativa ( $<0.0001$ ) lo que sugiere que podría estar asociado con la densidad del inóculo presente en la zona. También a considerar como indicado en epidemiología, que la lluvia solo actúa para depositar las uredosporas suspendidas en el aire sobre las hojas de soya. La intensidad de la lluvia podría estar relacionada pero no se estudió, y también que el diámetro de la boca de los pluviómetros-trampa fue reducido (factor de interferencia).

No obstante en general en Aerobiología, la detección de al menos una uredospora es un indicativo de que la enfermedad puede iniciarse en el cultivo, si también las condiciones ambientales son propicias. En este caso, de que el inoculo secundario estaba en el aire y que las infecciones secundarias podían ser favorecidas si las condiciones ambientales fueran propicias.



**Figura 9.** Fluctuación de la precipitación y densidad del inóculo secundario detectados en lluvia, a partir de pluviómetros-trampa en La Resolana durante el ciclo agrícola Primavera-Verano 2014 en Altamira, Tamaulipas.

### 3.3.2 Inóculo secundario: viento

#### 3.3.2.1

##### 3.3.2.1.1 Sitio 1: CEHUAS

Se encontró que la densidad del inóculo secundario (DIS) fue correlacionado aunque con bajo coeficiente ( $p = 0.60-0.66$ ) de forma positiva con el promedio de las temperaturas ( $T_x = 28.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_n = 18.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $T_m = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) (Cuadro 16, Figura 10; muestreo al 6 de Nov.) y que disminuyeron gradualmente y fueron así condiciones más óptimas de temperatura (Figura 10; 20 Nov.) para el desarrollo de la enfermedad (Levy, 2005) que causo infecciones secundarias (Figura 2) que liberaron inoculo secundario. En este estudio no se estudiaron los procesos de infección.

**Trampas a 85 cm.** La densidad del inóculo secundario fluctuó de 2 – 4,525 uredosporas en ultimo muestreo (Figura 10; 13 al 20 de noviembre), y principalmente de 2 a menos de 500 uredosporas (Figura 10) en los otros muestreos. La densidad de uredosporas secundarias se correlacionaron con las trampas del N, S y E (Cuadro 16, Figura 11). Aquí habría que considerar que las trampas estaban 20 cm abajo del dosel del cultivo por lo que no se definió la dirección

del viento predominante o probablemente se formaron remolinos de viento, y de que también no se analizó la VV (velocidad del viento). El alto número de uredosporas en último muestreo se pudo deber por la temporada de cosecha del grano de soya en la región o el fenómeno de los “nortes”, que dispersaron gran cantidad del inóculo secundario.

**Cuadro 16.** Sitio 1 - CEHUAS. Correlación de la densidad del inóculo secundario detectado en las trampas-portaobjeto y las variables evaluadas durante el ciclo Primavera-Verano 2014.

<b>VARIABLES</b>	<b><math>\rho</math></b>	<b>p_value</b>
<b><u>Temperatura x DIS</u></b>		
Máxima (Tx)	-0.60	< 0.0001**
Mínima (Tn)	-0.62	< 0.0001**
Media (Tm)	<b>- 0.66</b>	< 0.0001**
<b><u>Altura 85 cm x DIS</u></b>		
Norte (N)	0.99	< 0.0001**
Sur (S)	0.99	< 0.0001**
Este (E)	0.99	< 0.0001**
<b><u>Altura 142 cm x DIS</u></b>		
N	0.99	< 0.0001**
S	0.99	< 0.0001**
E	0.99	< 0.0001**

$\rho$ = coeficiente de correlación, **p\_value**= nivel de significancia, \*\*=  $\alpha = 0.01$  Altamente significativo, DIS = Densidad de Inoculo Secundario.

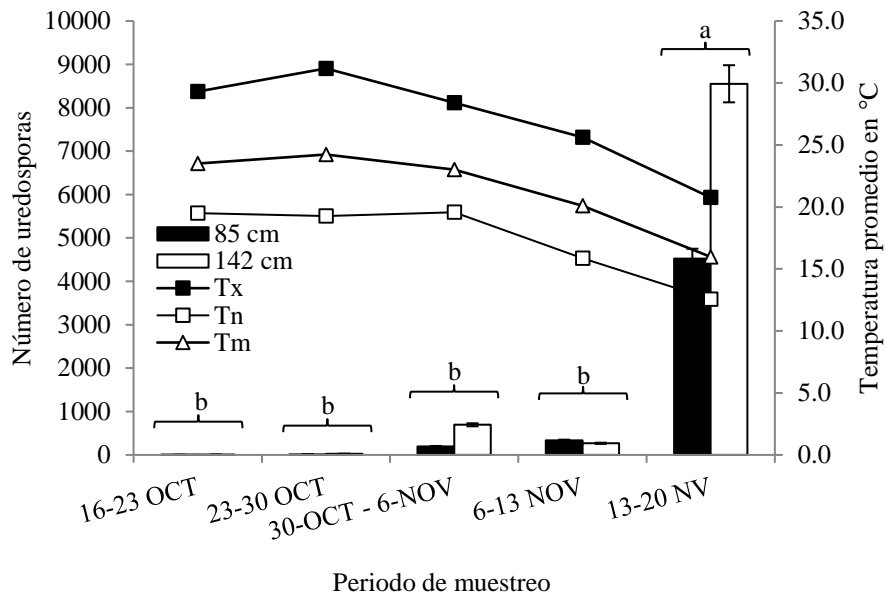
**Trampas a 142 cm.** En contraste a esta altura la fluctuación fue mayor, de 4 a 8,553 (último muestreo del 13-20 Nov, 2014) uredosporas (Figura 10). También principalmente de 4 a menos de 1,000 uredosporas (Figura 10) en los otros muestreos.

Estas se correlacionaron con vientos del N, S y E (Cuadro 16, Figura 11). Sin embargo, en ambas alturas (Figura 11) no existieron diferencias significativas en la densidad del inóculo secundario entre las direcciones de viento y entonces habría que usar otros métodos estadísticos.

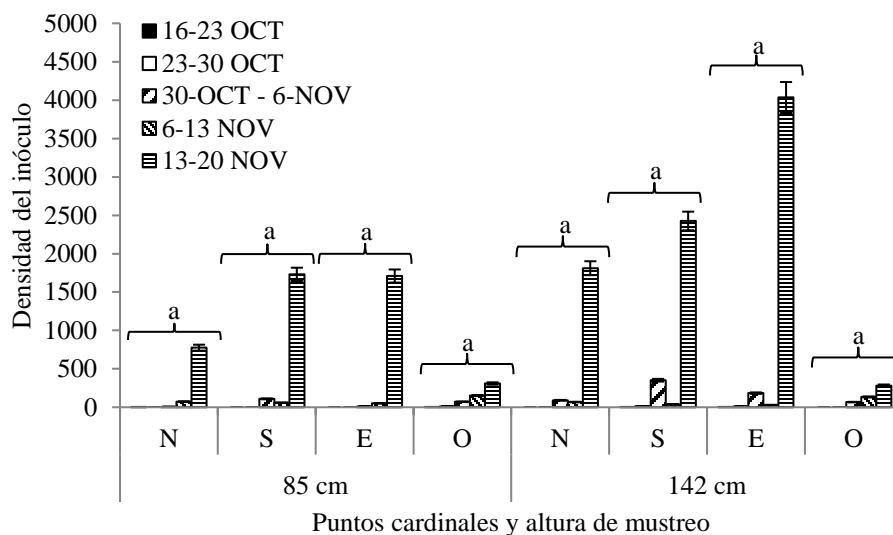
Por otra parte, las diferencias en la densidad de uredosporas de acuerdo a la altura de las trampas se podría deber a la deposición del inóculo. A 85 cm fue afectado por el follaje del cultivo que las cubría mientras que a 142 cm no existió ningún obstáculo que dificulte la deposición del inóculo en las trampas y la cantidad de uredosporas trampeadas fue mayor (Figura 10).

En el último muestreo con gran cantidad de uredosporas secundarias, habría que considerar que los agricultores alrededor del área experimental pudieron estar cosechando sus parcelas de soya y lo cual liberó grandes masas de uredosporas al aire, y también a la velocidad del viento (no se

analizó) en cada dirección de las trampas, al fenómeno del “norte”, y/o a la cercanía de la sierra en Sitio 1 (CEHUAS) que pudo ser un factor de interferencia, más probable formación de remolinos de viento, etc. Por ello posiblemente las correlaciones no mostraron diferencias entre la dirección del viento y las dos alturas. Se comportaron igual.



**Figura 10.** Sitio 1 - CEHUAS. Fluctuación de la densidad del inóculo secundario a 85 y 142 cm de altura, y temperaturas promedio a fechas de muestreo después de la detección de las infecciones primarias (Tx = Temperatura máxima, Tn = Temperatura mínima, y Tm = Temperatura media).



**Figura 11.** Sitio 1 – CEHUAS. Fluctuación del inóculo secundario en los puntos cardinales de muestreo en los portaobjetos-trampas, en ambas alturas durante el ciclo primavera-verano 2014 [Norte (N), Sur (S), Este (E), y Oeste (O)].

### Severidad e incidencia

Mostró una ligera tendencia a incrementarse en el tercio inferior y medio de la planta (débil correlación, Cuadro 17). A medida que la densidad del inóculo secundario presente en el ambiente aumentaba estuvo asociado a una disminución de la temperatura media (**T<sub>m</sub>**) (Cuadro 17) según la única temperatura medianamente correlacionada ( $p = 0.72-0.75$ ). Además el análisis de correlación indicó que las uredosporas capturadas en las trampas a la altura de 85 cm mostraron una fuerte correlación con la incidencia y severidad de la enfermedad en el cultivo en etapa fenológica R5 (inicio de desarrollo de semilla) (Cuadro 17). Lo que sugirió que gran parte del inóculo muestreado a esta altura provino del cultivo evaluado (trampas cubiertas por el follaje).

**Severidad.** El porcentaje de acumulado a nivel de cada tercio de la planta fue bajo [se mantuvo en la mínima severidad de la escala de Godoy (2006) (Figura 3.I; 0.6 %):

- TI (inferior) = 0.24,
- TM (medio) = 0.17 y
- TS (superior) = 0.12 %.



**Incidencia.** En contraste esta se incrementó por el inoculo secundario y fue del:

TI = 41,  
 TM = 29, y  
 TS = 21 %

Por defoliación prematura (posibles causas abióticas) finalizó el muestreo para incidencia y severidad, con un cultivo de soya en R6 (semilla verde ocupa toda la cavidad de la vaina).

**Cuadro 17.** Sitio 1 – CEHUAS. Correlación de la densidad del inóculo con la severidad e incidencia de la roya de la soya en el CEHUAS del 16 de octubre (detección de infección primaria) al 20 de noviembre (termino de evaluaciones), durante el ciclo Primavera-Verano 2014 en Altamira, Tamaulipas.

VARIABLES	$\rho$	p_value
<u>DIS x severidad</u>		
Tercio medio (TM)	0.52	< 0.0001**
Tercio inferior (TI)	0.57	< 0.0001**
<u>DIS x incidencia</u>		
TM	0.51	< 0.0001**
TI	0.55	< 0.0001**
<u>Severidad e Incidencia x Tm</u>		
Tercio superior (TS)	-0.75	< 0.0001**
TM	-0.75	< 0.0001**
TI	-0.72	< 0.0001**
<u>DIS a 85 cm x Severidad e incidencia</u>		
TS	0.83	< 0.0001**
TM	0.89	< 0.0001**
TI	0.90	< 0.0001**

$\rho$ = coeficiente de correlación, **p\_value**= nivel de significancia, \*\*=  $\alpha = 0.01$  Altamente significativo, Tm = temperatura media, DIS = Densidad de Inoculo Secundario.

En general estos resultados indicaron que las condiciones ambientales que favorecen la enfermedad se presentaron tarde, hasta la etapa reproductiva del cultivo, y por ello hubo baja incidencia y severidad, y a pesar de que hubo inoculo primario y secundario. Entonces por ello se consideró que el cultivo escapó a la enfermedad.

## Componentes principales

*Estos análisis como indicado en Cap. II, fueron por instrucción directa de la Asesora, Dra. Ma. del Pilar Rodríguez Guzmán, y que no se respaldan con ningún nivel de coeficiente de probabilidad y/o de significancia, y tampoco se encontraron en la literatura de fitopatología, artículos con este tipo de análisis.*

Aunque sin probabilidad y significancia, el análisis de Componentes Principales identificó tres vectores que en conjunto explican el 88 % de la variabilidad total de los datos (Cuadro 18). Por lo que, la densidad del inóculo secundario presente en la región sur de Tamaulipas en gran parte se debió al primer componente principal, que explicó el 41 % de la variación total de los datos y se encontró representado por las variables posibles Temperatura, y la severidad e incidencia de la enfermedad en campo.

El segundo componente principal del cual depende en un 20 % la densidad del inóculo secundario muestreado fue posiblemente la altura y la orientación misma de las trampas.

Finalmente la Pp, VV, DV y HR posiblemente influyeron con un 10 % del total del inóculo secundario muestreado en los portaobjetos-trampa (Cuadro 19).

Con el análisis de Componentes Principales todos los valores estuvieron debajo de 0.5, por lo que la información en general fue dudosa (Cuadro 19). Habría que hacer regresiones.

**Cuadro 18.** Sitio 1 - CEHUAS. Vectores identificados en el análisis de componentes principales que débilmente explicaron la densidad del inóculo secundario muestreado del 16 de octubre al 20 de noviembre, durante el ciclo primavera-verano 2014 en Altamira, Tamaulipas.

	Autovalor †	Diferencia	Proporción ¶	Acumulada ✓
1	13.43	8.88	0.58	0.41
2	4.54	2.24	0.20	0.58
3	2.30	1.34	0.10	0.88

† Autovalor corresponde a la varianza del componente.

¶ Proporción de la variabilidad explicada por cada valor característico.

✓ Proporción acumulada de la variabilidad total explicada por los valores característicos.

**Cuadro 19.** Sitio 1 – CEHUAS. Componentes principales débilmente identificados para la densidad del inóculo secundario durante el ciclo primavera-verano 2014 en el CEHUAS en Altamira Tamaulipas.

Variables	Componente principal		
	1	2	3
Precipitación (Pp)	- 0.02	- 0.11	0.40
<u>Temperatura</u>			
máxima (Tx)	- 0.19	0.10	- 0.29
mínima (Tn)	- 0.14	0.16	0.33
media (Tm)	- 0.23	0.15	- 0.05
Velocidad del viento (VV)	- 0.00	- 0.09	0.45
Dirección del Viento (DV)	0.03	0.00	0.45
Humedad relativa (HR)	0.07	- 0.17	0.43
Altura 85 cm	0.26	0.06	- 0.01
Altura 142 cm	0.14	0.39	0.05
<u>Altura 85 cm</u>			
Norte (N)	0.24	- 0.19	- 0.04
Sur (S)	0.17	0.35	0.05
Este (E)	0.26	- 0.12	- 0.04
Oeste (O)	0.27	- 0.00	- 0.03
<u>Altura 142 cm</u>			
N	0.21	0.29	0.03
S	0.08	0.44	0.06
E	0.08	0.43	0.06
O	0.27	0.02	- 0.01
<u>Severidad</u>			
Tercio inferior (TI)	0.27	0.04	- 0.02
Tercio medio (TM)	0.26	- 0.06	- 0.03
Tercio superior (TS)	0.24	- 0.17	- 0.05
<u>Incidencia</u>			
TI	0.27	- 0.00	- 0.02
TM	0.26	- 0.06	- 0.03
TS	0.24	- 0.17	- 0.05

### 3.3.2.1.2 Sitio 2: La Resolana: Viento

**Altura a 85 cm.** Para este sitio durante el ciclo Primavera-Verano se encontró una correlación negativa entre la densidad del inóculo secundario y principalmente con las temperaturas **Tn** y **Tm** (Cuadro 20).

**Cuadro 20.** Correlación de la densidad del inóculo secundario detectado en las trampas -portaobjeto-viento y las variables evaluadas durante el ciclo primavera-verano 2014 en La Resolana.

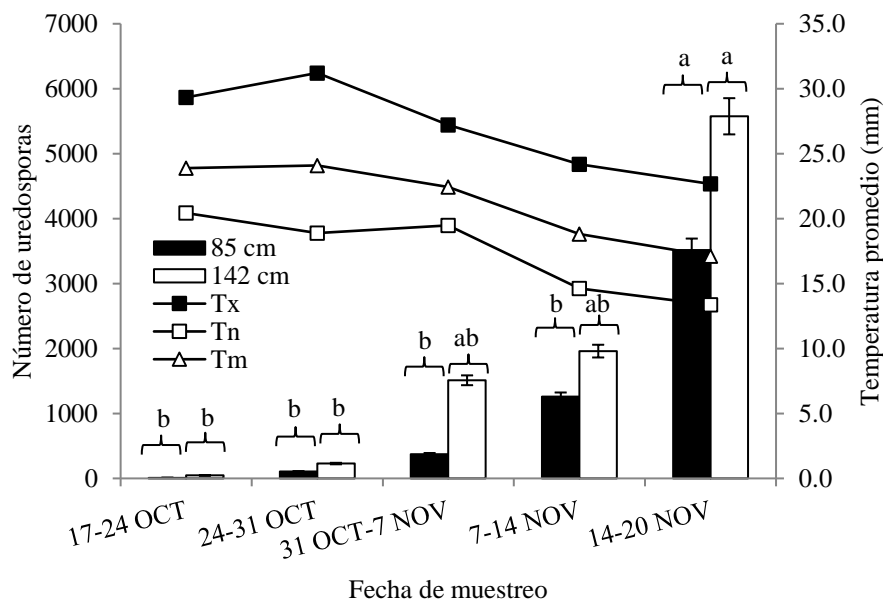
<b>VARIABLES</b>	<b><math>\rho</math></b>	<b>p_value</b>
<u>DIS 85 cm</u>		
Temperaturas		
Máxima (Tx)	-0.57	0.0003
Media (Tm)	<b>-0.71</b>	< 0.0001**
Mínima (Tn)	<b>-0.72</b>	< 0.0001**
Norte (N)	0.95	< 0.0001**
Sur (S)	0.98	< 0.0001**
Este (E)	0.98	< 0.0001**
Oeste (O)	0.92	< 0.0001**
<u>DIS 142 cm</u>		
Tm	-0.70	< 0.0001**
Tn	-0.68	< 0.0001**
N	0.94	< 0.0001**
S	0.82	< 0.0001**
E	0.94	< 0.0001**
O	0.98	< 0.0001**

$\rho$ = coeficiente de correlación, **p\_value**= nivel de significancia, \*\*=  $\alpha = 0.01$  Altamente significativo. DIS = Densidad de Inoculo Secundario.

La fluctuación fue de 10 (muestreo del 17-24 Oct.) a 3,517 uredosporas (ultimo muestreo) (Figura 12), y principalmente en los otros muestreos fluctuó de 10 a  $\pm 1,300$  uredosporas (Figura 12). Lo que sugirió que al disminuir las temperaturas de 24 °C a varios grados (Tm, Figura 12) existió un incremento en la densidad del inóculo secundario, aunque en el último muestreo (14-20 Nov., Figura 12) también pudo deberse a las labores de cosecha en la región que ayudaron a dispersar las uredosporas, y al fenómeno del “norte” (<http://www1.inecol.edu.mx/costasustentable/esp/pdfs/Publicaciones/Dunas/Climas.pdf>). Por otra parte la Tx tuvo una correlación baja con la densidad del inóculo capturado en los portaobjetos-trampas (Cuadro 20).

A esta altura la densidad del inóculo tuvo una fuerte correlación con la orientación de los portaobjetos-trampa en todas las direcciones (N, S, E y O), donde la densidad del inóculo secundario fue predominante durante el último muestreo (14-20 Nov. 2014; Figura 12). Lo que lleva a considerar que debe haber otras explicaciones para tales correlaciones como lo es el fenómeno de nortes que arriban a la región con alta velocidad (<http://www1.inecol.edu.mx/costasustentable/esp/pdfs/Publicaciones/Dunas/Climas.pdf>) y que pueden durar unas horas, o hasta 12 h. También pudo estar indicando que es más importante

considerar la velocidad del viento en lugar de la dirección del viento. Estas correlaciones fueron confusas y tal vez debidas a que estas trampas estuvieron además, 20 cm abajo del dosel del cultivo.

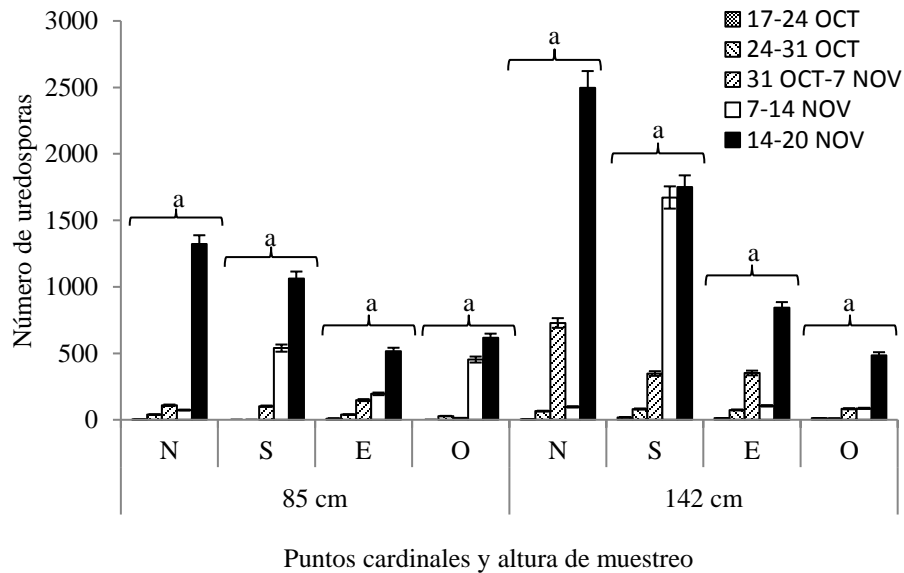


**Figura 12.** Fluctuación de la densidad del inóculo secundario en los portaobjetos-trampa a 85 y 142 cm de altura y las temperaturas (promedio), a partir de la detección de las infecciones primarias (17-24 Oct.) en La Resolana durante el ciclo primavera-verano 2014 en Altamira, Tamaulipas (Tx = Temperatura máxima, Tn= Temperatura mínima y Tm = Temperatura media).

**Altura a 142 cm.** En contraste a lo anterior, a esta altura la densidad del inóculo secundario fue más notable variando en su fluctuación de 46 a 5,576 uredoesporas a la fecha del ultimo muestreo (14-20 Nov.) (Figura 12) y principalmente de 46-2,000 uredoesporas, en cultivo R6 (semilla verde ocupa toda la cavidad de la vaina).

El incremento en la densidad del inóculo de la roya de la soya al final del ciclo del cultivo se correlacionó con bajo coeficiente al descenso en las Tn y Tm (Cuadro 20). Registrando el mayor número de uredoesporas en los portaobjetos-trampa orientados a las cuatro direcciones (N, S, E y O) y asociadas a la densidad del inóculo significativamente con un alto coeficiente de correlación (Cuadro 20). Sin embargo, aunque existieron fuertes correlaciones entre la densidad del inóculo

y la orientación de muestreo en ambas alturas no se encontró diferencia significativa entre ellos (Figura 13). Se deben usar otros métodos estadísticos.



**Figura 13.** Densidad del inóculo secundario en los cuatro puntos cardinales de muestreo, a partir de portaobjetos-trampa a dos alturas en La Resolana en el ciclo Primavera-Verano 2014.

**Incidencia y severidad.** Como resultado de la enfermedad, el porcentaje de severidad (tejido dañado) a los 28 días después de la detección de las infecciones primarias se incrementaron por posible efecto del inóculo secundario, y se ubicaron en la segunda escala de Godoy (2006) (2.0 %; Figura 3.I). También se incrementó la incidencia como sigue:

	<u>Severidad (%)</u>	<u>Incidencia (%)</u>
TI =	1.7	99.3
TM =	1.1	96.7
TS =	0.9	87.0

Ambas se correlacionaron con las temperaturas Tn y Tm respectivamente y tercio de la planta (Cuadro 21).

**Cuadro 21.** Asociaciones establecidas, por análisis de correlación (coeficiente de Pearson  $\rho$ ), de la densidad del inóculo con la severidad e incidencia de la roya de la soya considerando el efecto de las variables estrato de la planta y temperaturas, en La Resolana durante el ciclo Primavera-Verano 2014 en Altamira, Tamaulipas.

<b>VARIABLES</b>	<b><math>\rho</math></b>	<b>p_value</b>
<b><u>Severidad</u></b>		
Tercio inferior (TI) x <b>Tn</b>	-0.76	< 0.0001**
Tercio medio (TM) x <b>Tn</b>	-0.75	< 0.0001**
Tercio superior (TS) x <b>Tn</b>	-0.75	< 0.0001**
<b><u>Incidencia</u></b>		
TI x <b>Tm</b>	-0.72	< 0.0001**
TM x <b>Tm</b>	-0.72	< 0.0001**
TS x <b>Tm</b>	-0.72	< 0.0001**
<b><u>Severidad x DIS a 85 cm</u></b>		
TI	0.99	< 0.0001**
TM	0.99	< 0.0001**
TS	0.99	< 0.0001**
<b><u>Incidencia x DIS a 85 cm</u></b>		
TI	0.96	< 0.0001**
TM	0.96	< 0.0001**
TS	0.97	< 0.0001**
<b><u>Severidad x DIS a 142 cm</u></b>		
TI	0.84	< 0.0001**
TM	0.87	< 0.0001**
TS	0.87	< 0.0001**
<b><u>Incidencia x DIS a 142 cm</u></b>		
TI	0.97	< 0.0001**
TM	0.97	< 0.0001**
TS	0.95	< 0.0001**

**p\_value**= nivel de significancia, \*\*=  $\alpha = 0.01$  Altamente significativo.  
DIS = Densidad del Inóculo Secundario.

## Componentes principales

*Estos análisis como indicado en Cap. II, fueron por instrucción directa de la Asesora, Dra. Ma. del Pilar Rodríguez Guzmán, y que no se respaldan con ningún nivel de coeficiente de probabilidad y/o de significancia, y tampoco se encontraron en la literatura de fitopatología, artículos con este tipo de análisis.*

Aunque con valores débiles (no confiables), se identificaron tres vectores característicos que en conjunto trataron de explicar el 86 % de la variabilidad total de los datos (Cuadro 22). Lo que sugirió que la densidad del inóculo secundario presente en el ambiente se debió en un 61 % a la Temperatura, la incidencia y severidad de la enfermedad en el cultivo y a la orientación de las trampas, el 15 % se encuentra relacionado a la altura de muestreo, mientras que el 10 % estuvo con la menos posible asociación a la Pp, VV, DV y la HR (Cuadro 23). Se deben hacer en futuros estudios análisis confiables.

**Cuadro 22.** Vectores identificados en el análisis de componentes principales que explican la densidad del inóculo secundario muestreado del 16 de octubre al 21 de noviembre en La Resolana, durante el ciclo primavera-verano 2014 en Altamira, Tamaulipas.

	Autovalor †	Diferencia	Proporción ¶	Acumulada ✓
1	14.15	10.59	0.61	0.61
2	3.55	1.30	0.15	0.77
3	2.25	1.27	0.10	0.86

† Autovalor corresponde a la varianza del componente.

¶ Proporción de la variabilidad explicada por cada valor característico.

✓ Proporción acumulada de la variabilidad total explicada por los valores característicos.

**Cuadro 23.** Componentes principales identificados para la densidad del inóculo secundario durante el ciclo primavera-verano 2014 en La Resolana en Altamira Tamaulipas.

Variables	Componente principal		
	1	2	3
Precipitación (Pp)	- 0.01	-.19	0.31
<u>Temperatura</u>			
máxima (Tx)	- 0.17	0.08	- 0.39
mínima (Tn)	- 0.19	0.16	0.09
media (Tm)	- 0.20	0.13	- 0.23
Velocidad del viento (VV)	- 0.01	- 0.15	0.44
Dirección del Viento (DV)	- 0.00	- 0.04	0.39
Humedad relativa (HR)	0.04	- 0.16	0.46
Altura 85 cm	0.25	- 0.08	- 0.07
Altura 142 cm	0.25	0.16	0.01
<u>Altura 85 cm</u>			
Norte (N)	0.17	0.39	0.04
Sur (S)	0.25	- 0.12	- 0.07
Este (E)	0.25	0.15	- 0.00
Oeste (O)	0.23	- 0.20	- 0.12
<u>Altura 142 cm</u>			
N	0.05	0.49	0.17
S	0.25	- 0.12	- 0.08
E	0.08	0.48	0.14
O	0.23	0.22	0.07
<u>Severidad</u>			
Tercio inferior (TI)	0.25	- 0.12	- 0.07
Tercio medio (TM)	0.25	- 0.08	- 0.06
Tercio superior (TS)	0.25	- 0.09	- 0.06
<u>Incidencia</u>			
TI	0.26	0.04	- 0.01
TM	0.26	0.04	- 0.01
TS	0.26	0.00	- 0.02



### 3.3.2.2 Ciclo Otoño-Invierno 2014-2015

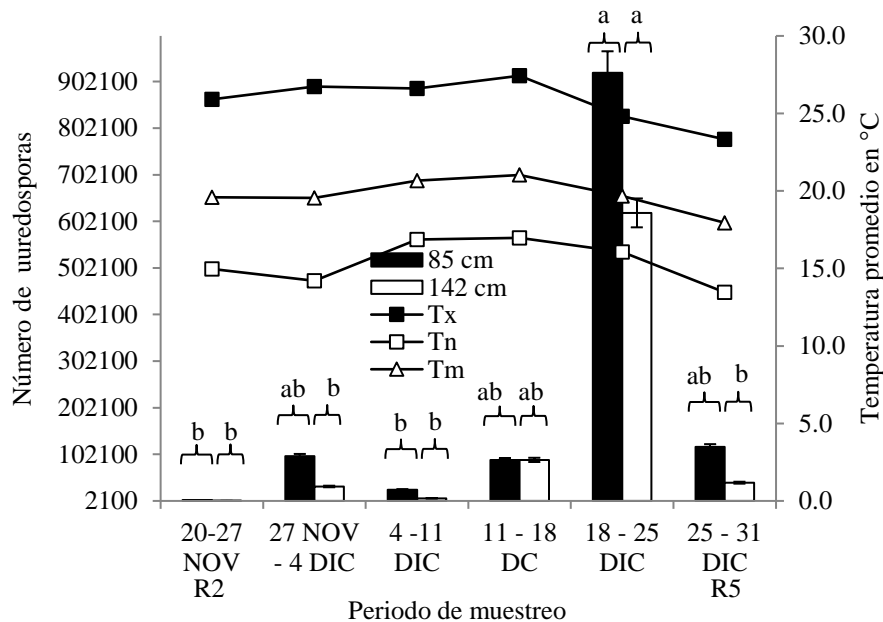
**3.3.2.2.1 Sitio 3: CEHUAS.** Las infecciones primarias se detectaron el 20 de Noviembre, 2014.

**Trampas a 85 cm.** Debido en la región de estudio (zona sojera), posiblemente a las labores de cosecha del cultivo (gran movimiento de hojas sintomáticas por la maquinaria cortando las plantas) del ciclo agrícola Primavera-Verano, 2014, y a la labor propia de cosecha del grano al final del ciclo (gran movimiento de hojas por la trilla separando la semilla de las vainas), la densidad del inóculo secundario aéreo fluctuó de 3,779 a 902,100 uredosporas del 20 de noviembre (R2) al 18 de diciembre (R5) (Figura 14); y mientras en los otros muestreos principalmente el inóculo secundario fue de 3,779 a unas 10,000 uredosporas (Figura 14). Iniciando con un cultivo de soya en R2 (una flor abierta en uno de los dos nudos superiores) y finalizó con un cultivo en R5 (vainas verdes con inicio desarrollo de semilla en uno de los cuatro nudos superiores).

Este inóculo secundario se correlaciono con todas las direcciones del viento del N, S, E, O (Cuadro 24), y no se correlacionaron con las temperaturas (Cuadro 24) que fueron propicias para las infecciones secundarias, y producción y liberación del inóculo secundario según varios autores (Figura 2; Figura 14).

Se especula que el alto pico de uredosporas se pudo asociar a las Tx y Tm promedio de 25.8 a 19.7 °C respectivamente (18-25 Dic.; Figura 14). Sin embargo durante la última semana de muestreo (25 al 31 de diciembre del 2014), las Tn promedio fueron de 14.41 °C y se asoció a la disminución de la densidad del inóculo en los portaobjetos-trampa (Figura 14) y que tuvieron diferencias significativas.

Como indicado lo más probable fueron las labores de cosecha de la región que liberaron el inóculo secundario al ambiente y fue así que se dispersaron por el viento y se detectaron en gran cantidad en todos los puntos cardinales de muestreo, principalmente en trampas del **E** (500,400 uredosporas) seguidas del **S** (200,400 uredosporas) del 18-25 Dic., aunque sin diferencias significativas (Figura 15) (otros métodos de análisis estadísticos son requeridos), aunque si se correlacionaron (Cuadro 24). También hay que considerar el fenómeno de vientos del “norte” que aquí tuvieron buena relación con la dirección **E** (vientos del **Noreste**), que capturo el más alto número de uredosporas (Figura 15).



**Figura 14.** Sitio 3. Fluctuación de la densidad del inóculo secundario a 85 y 142 cm de altura, a partir de portaobjetos-trampa en relación a las temperaturas promedio (Tm), máxima (Tx), y mínima (Tn), durante el ciclo Otoño-Invierno 2014-2015 en el CEHUAS de Altamira, Tamaulipas.

**Cuadro 24** Correlación de la densidad del inóculo secundario detectado en las trampas-portaobjeto en ambas alturas durante el ciclo Otoño-Invierno 2014 en el CEHUAS de Altamira, Tamaulipas.

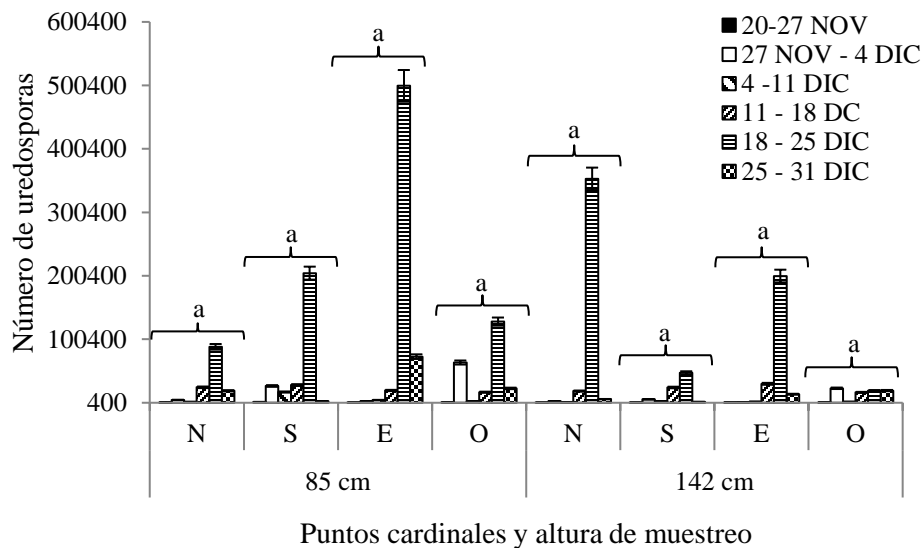
VARIABLES	$\rho$	p_value
<u>Altura 85 cm x DIS</u>		
Norte (N)	0.98	< 0.0001**
Sur (S)	0.99	< 0.0001**
Este (E)	0.99	< 0.0001**
Oeste (O)	0.93	< 0.0001**
<u>Altura 142 cm x DIS</u>		
N	0.99	< 0.0001**
S	0.93	< 0.0001**
E	0.99	< 0.0001**

$\rho$ = coeficiente de correlación, **p\_value**= nivel de significancia, \*\*=  $\alpha = 0.01$  Altamente significativo, DIS = Densidad de Inoculo Secundario.

**Trampas a 142 cm.** En contraste la fluctuación fue de 2,172 a 602,100 uredosporas, y principalmente de 2,172 a 10,000 uredosporas en los otros muestreos (Figura 14), y se correlacionaron con las direcciones N, S, E (Cuadro 24), y donde las mayores densidades se registraron en las trampas-portaobjetos dirigidas del N y E (Figura 15).

Se pudo observar que los grandes picos de uredosporas fueron probablemente por la influencia del fenómeno de “nortes”, dada su relación principalmente con el alto pico de la dirección del viento del **N** (unas 350,000 uredosporas) seguida del **E** (200,400 uredosporas) (Figura 15)

Sin embargo, para ambas direcciones y alturas (85 y 142 cm) no se encontraron diferencias significativas entre las densidades cuantificadas en cada uno de los puntos cardinales (Figura 15) aunque si se correlacionaron con el inoculo secundario (Cuadro 24). Se deben usar otros métodos estadísticos para Figura 15, o diferente arreglo de someter los datos.



**Figura 15.** Sitio 3. Densidad del inóculo secundario en los puntos cardinales de muestreo en portaobjetos-trampa en ambas alturas en el CEHUAS durante el ciclo Otoño Invierno 2014 en Altamira, Tamaulipas.

**Severidad e incidencia.** La incidencia de las infecciones secundarias en el TI (tercio inferior), TM (tercio medio) y TS (tercio superior) se correlacionaron con la densidad del inóculo proveniente del O a 142 cm de altura (Cuadro 25), mientras que a 85 cm se correlacionaron débilmente solo con la incidencia en el TI (Cuadro 25).

**Cuadro 25.** Correlación de la densidad del inóculo con la incidencia de la roya asiática de la soya en el CEHUAS durante el ciclo Otoño-Invierno 2014 en Altamira, Tamaulipas.

VARIABLES	$\rho$	p_value
<u>Incidencia x DIS (O) a 142cm</u>		
TI	0.65	< 0.0001**
TM	0.93	< 0.0001**
TS	0.78	< 0.0001**
<u>Incidencia x DIS (O) a 85cm</u>		
TI	0.57	< 0.0001**

$\rho$ = coeficiente de correlación, **p\_value**= nivel de significancia, \*\*=  $\alpha = 0.01$  Altamente significativo, TI = tercio inferior, TM = tercio medio y TS = tercio superior, DIS = Densidad de Inoculo Secundario.

Severidad. El porcentaje acumulado después de seis semanas de la detección de las infecciones primarias fue el más alto en la escala de Godoy (2006) (Figura 3.I; 78.5 %) como sigue.

$$TI = 72.87,$$

$$TM = 76.19, \text{ y}$$

$$TS = 74.32 \%$$

Incidencia. En la primera semana de muestreo fue de 95 % en TI (20 Nov.), al 100 % en la segunda semana de muestreo (27 de noviembre al 4 de diciembre, 2014).

En TM y TS la incidencia del 100 % se observó en la quinta semana de muestreo, 35 días después de la detección de las infecciones primarias del 20 de noviembre de 2014.

Debido a la severidad de la roya y a los eventos de “vientos fuertes del Norte” hubo una defoliación prematura que termino con el cultivo de soya en una etapa fenológica R5 (vaina verde con inicio desarrollo de semilla en uno de los cuatro nudos superiores).

### Componentes principales

*Estos análisis como indicado en Cap. II, fueron por instrucción directa de la Asesora, Dra. Ma. del Pilar Rodríguez Guzmán, y que no se respaldan con ningún nivel de coeficiente de probabilidad y/o de significancia, y tampoco se encontraron en la literatura de fitopatología, artículos con este tipo de análisis.*

Como resultado del análisis de Componentes Principales se identificaron cuatro vectores principales que describen la variación total de los datos y en conjunto explican el 84 % conteniendo en ellas las variables que influyen en la densidad del inóculo secundario muestreado en los portaobjetos-trampa (Cuadro 26). Donde el primer componente principal se compone de la

altura de muestreo y la orientación de las trampas que influyó con un 46 % en la densidad del inóculo muestreado a través de los portaobjetos-trampa. El segundo componente principal explicó el 16 % de la variación total y se constituyó por la severidad de la enfermedad. Con un 13 % la temperatura, la VV, HR, y la incidencia influyeron en la disponibilidad y transporte de las uredosporas (Cuadro 27).

**Cuadro 26.** Vectores identificados en el análisis de componentes principales que influyeron en la densidad del inóculo secundario muestreado a partir de los portaobjetos-trampa del 20 de noviembre al 31 de diciembre durante el ciclo Otoño-Invierno en el CEHUAS, en Altamira, Tamaulipas.

	Autovalor †	Diferencia	Proporción ¶	Acumulada ✓
1	10.03	6.07	0.46	0.46
2	3.95	0.98	0.18	0.64
3	2.97	1.40	0.13	0.77
4	1.57	0.38	0.07	0.84

† Autovalor corresponde a la varianza del componente.

¶ Proporción de la variabilidad explicada por cada valor característico.

✓ Proporción acumulada de la variabilidad total explicada por los valores característicos.

**Cuadro 27.** Componentes principales identificados con cada una de las variables evaluadas y su efecto positivo y negativo que influyeron débilmente (sin niveles de probabilidad y significancia) en la densidad del inóculo presente en el sur de Tamaulipas durante el ciclo Otoño-Invierno 2014, en el CEHUAS en Altamira, Tamaulipas.

Variables	Componente principal			
	1	2	3	4
Precipitación (Pp)	0.00	0.00	0.00	0.00
<u>Temperatura</u>				
máxima (Tx)	- 0.07	0.28	0.33	- 0.18
mínima (Tn)	0.00	0.29	0.32	0.31
media (Tm)	- 0.03	0.33	0.37	0.10
Velocidad del viento (VV)	0.12	0.01	- 0.30	0.22
Dirección del Viento (DV)	0.01	- 0.13	- 0.17	0.49
Humedad relativa (HR)	- 0.03	0.12	0.43	0.24
Altura 85 cm	0.30	0.10	- 0.06	0.03
Altura 142 cm	0.30	0.13	- 0.05	0.02
<u>Altura 85 cm</u>				
Norte (N)	0.30	0.07	- 0.01	0.02
Sur (S)	0.29	0.16	- 0.06	0.02
Este (E)	0.30	0.09	- 0.07	0.08
Oeste (O)	0.28	0.07	- 0.03	- 0.14
<u>Altura 142 cm</u>				
N	0.29	0.14	- 0.08	0.05
S	0.28	0.15	0.03	- 0.07

E	0.30	0.13	-0.05	0.04
O	0.18	-0.22	0.19	-0.34
<u>Severidad</u>				
Tercio inferior (TI)	0.15	-0.31	0.22	0.30
Tercio medio (TM)	0.15	-0.35	0.15	0.16
Tercio superior (TS)	0.15	-0.35	0.15	0.16
<u>Incidencia</u>				
TI	0.14	-0.17	0.30	0.06
TM	0.19	-0.22	0.27	-0.18
TS	0.17	-0.17	0.07	-0.38

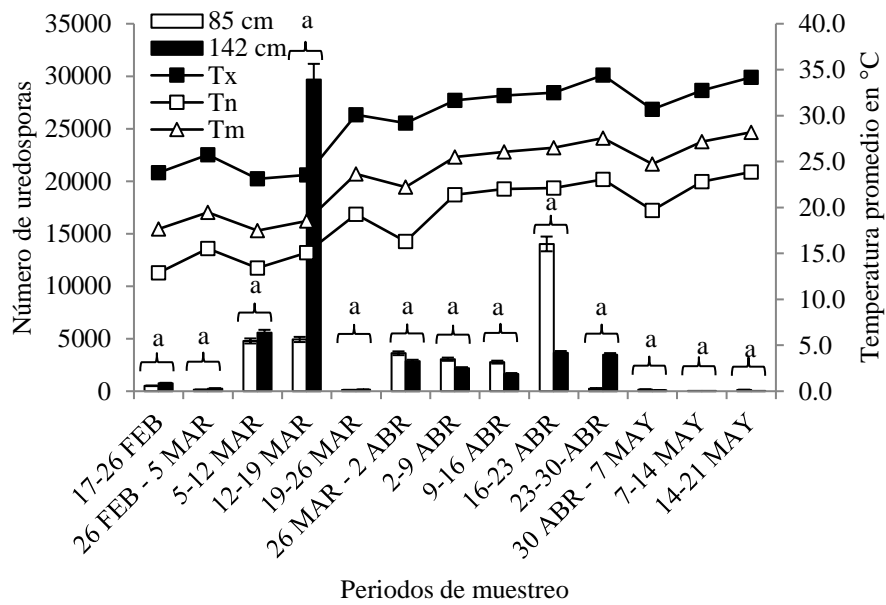
### 3.3.2.3 Ciclo otoño-invierno tardío 2015

**3.3.2.3.1 Sitio 4: CEHUAS.** Las infecciones primarias se detectaron el 10 de Marzo, 2015 en V4.

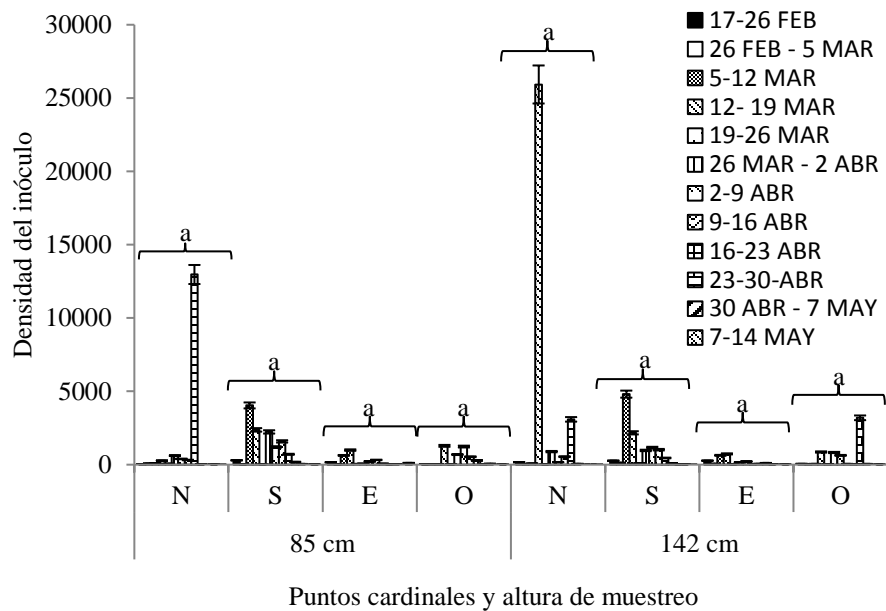
**Trampas a 85 cm.** A esta altura la fluctuación del inóculo secundario fue de 1-14,027 uredosporas (pico único del 16-23 Abr.) (Figura 16), y principalmente de 1-5,000 uredosporas en los otros muestreos. Con temperaturas promedio óptimas para las infecciones secundarias y que después fluctuaron a 30 °C; y del muestreo del 2-9 Abr., de 30 a 35 °C, que ya no favorecieron las infecciones secundarias (Figura 16), y según varios autores (Figura 2), y el inóculo secundario se redujo a unas cuantas uredosporas a partir de abril 30, 2015.

La mayor cantidad de uredosporas se registraron y correlacionaron en los portaobjetos-trampa del N (Figura 17, Cuadro 28) durante el periodo comprendido del 17 de febrero al 30 de abril de 2015. Lo que se relacionó con el fenómeno de los vientos del “norte” por el gran pico en 16-23 de Abril (Figura 17). Habría que considerar la velocidad del viento.

**Trampas a 142 cm.** En contraste a esta altura la densidad del inóculo secundario fluctuó de 5-29,695 uredosporas (Figura 16), y también principalmente de 1 a un poco más de 5,000 uredosporas (Figura 16). Detectando la mayor cantidad de uredosporas que estuvieron también correlacionadas en los portaobjetos-trampa ubicados en las direcciones N (Figura 17, Cuadro 28). Lo que también se relacionó con el fenómeno de los vientos del “norte” por el gran pico en 12-19 de Marzo (Figura 17).



**Figura 16.** Fluctuación de la densidad de uredosporas de la roya asiática de la soya a 85 y 142 cm de altura detectados a partir de portaobjetos-trampa, y temperaturas (promedio) registradas durante el ciclo Otoño Invierno tardío 2015 en el CEHUAS de Altamira, Tam.



**Figura 17.** Densidad del inóculo secundario en los puntos cardinales de muestreo, obtenidos en los portaobjetos-trampa en ambas alturas en el CEHUAS durante el ciclo Otoño Invierno tardío 2015 en Altamira, Tamaulipas.

**Cuadro 28.** Variables correlacionadas con la densidad del inóculo secundario detectado en los portaobjetos-trampa durante el ciclo Otoño-Invierno tardío 2015 en el CEHUAS en Altamira, Tamaulipas.

	<b>VARIABLES</b>	<b>p_value</b>	<b><math>\rho</math></b>
	<u>Altura 85 cm x DIS</u>		
Norte (N)		< 0.0001**	<b>0.89</b>
Sur (S)		< 0.0001**	0.40
	<u>Altura 142 cm x DIS</u>		
N		< 0.0001**	<b>0.97</b>
S		< 0.0001**	0.44
	<b><u>Incidencia x Tm</u></b>		
TI		< 0.0001**	0.75
TM		< 0.0001**	0.76
TS		< 0.0001**	0.84
	<b><u>Severidad x Tm</u></b>		
TI		< 0.0001**	0.72
TM		< 0.0001**	0.73
TS		< 0.0001**	0.75
	<u>Severidad x DIS (N) a 85 cm</u>		
TI		< 0.0001**	0.53
TM		< 0.0001**	0.59
TS		< 0.0007	0.46

$\rho$ = coeficiente de correlación, **p\_value**= nivel de significancia, \*\*=  $\alpha = 0.01$  Altamente significativo, TI = tercio inferior, TM = tercio medio y TS = tercio superior, DIS = Densidad de Inoculo Secundario, Tm = temperatura promedio.

**Incidencia y severidad.** Se evaluó a partir del 12 de marzo en una etapa fenológica vegetativa V4 (“n” nudos en tallo principal) y finalizo con un cultivo de soya en R5 (inicio del desarrollo de la semilla) el 30 de abril.

La incidencia y severidad para ambas alturas en el TI (tercio inferior), TM (medio) y TS (superior) se asoció a la **Tm**, por lo que favoreció el desarrollo de la enfermedad (Cuadro 28).

Por otra parte se observó mayor DIS en las trampas del N (16 al 23 de abril), y con baja correlación para severidad y dirección N, a 85 cm de altura (Cuadro 28).

**Severidad.** Después de 50 días de la detección de la enfermedad en campo la severidad final fue de: 38.7 % en el TI (tercio inferior), 22.4 % n el TM (tercio medio) y 7.7 % en el TS (tercio superior) (Figura 3.I).

**Incidencia.** En contraste esta fue del 100 % a los 35 días después de la detección de la roya en el TI. Mientras que para el TM y TS fue del 99 % a los 50 días.



## Componentes principales

*Estos análisis como indicado en Cap. II, fueron por instrucción directa de la Asesora, Dra. Ma. del Pilar Rodríguez Guzmán, y que no se respaldan con ningún nivel de coeficiente de probabilidad y/o de significancia, y tampoco se encontraron en la literatura artículos con este tipo de análisis.*

El análisis de componentes principales para el Sitio 4 correspondiente al ciclo Otoño-Invierno tardío durante el 2015 identificó cuatro vectores principales que en conjunto explicaron el 82 % de la variación total de los datos, identificando las asociaciones y las variables evaluadas que tuvieron mayor influencia en la DIS (Cuadro 29). El primer componente principal involucró la incidencia de la enfermedad con la orientación de las trampas como factores importantes que regularon la densidad del inóculo presente en el sur de Tamaulipas en un 48 %. Otras de las variables que influyeron en la DIS son la altura de muestreo y la severidad de la enfermedad en el cultivo, que en conjunto explicaron el 15 % de la variación total y constituyeron el segundo componente principal. El tercer componente principal indicó que la HR y la Pp tiende a modificar la DIS en un 11 %, mientras que el cuarto componente principal se asoció a la temperatura, VV y DV con un 7 % (Cuadro 30).

**Cuadro29.** Vectores principales que explican la variación total de las variables evaluadas de acuerdo a la densidad de inóculo secundario muestreado en cada uno de los puntos cardinales a partir de los portaobjetos-trampa durante el ciclo Otoño-Invierno tardío 2015 del 12 de marzo al 30 de abril, en el CEHUAS del sur de Tamaulipas.

	Autovalor †	Diferencia	Proporción ¶	Acumulada ✓
1	11.26	7.76	0.49	0.48
2	3.49	0.91	0.15	0.64
3	2.58	0.96	0.11	0.75
4	1.61	0.49	0.07	0.82

† Autovalor corresponde a la varianza del componente.

¶ Proporción de la variabilidad explicada por cada valor característico.

✓ Proporción acumulada de la variabilidad total explicada por los valores característicos.

**Cuadro 30.** Variables que constituyen cada uno de los componentes principales que explicaron el 82 % de la variación total en función de la densidad del inóculo en el CEHUAS del del sur de T amulipas durante el ciclo Otoño-Invierno tardío 2015.

Variables	Componente principal			
	1	2	3	4
Precipitación (Pp)	- 0.042328	0.159568	0.207212	0.058995
<u>Temperatura</u>	0.242561	- 0.013111	0.049558	0.320890
máxima (Tx)				
mínima (Tn)	0.219381	0.088051	0.096787	0.318064
media (Tm)	0.253308	0.037984	0.084421	0.309753
Velocidad del viento (VV)	0.113789	0.051399	- 0.240050	- 0.461772
Dirección del Viento (DV)	- 0.039127	0.237919	- 0.156016	- 0.422168
Humedad relativa (HR)	- 0.130500	0.015061	0.380425	0.193348
Altura 85 cm	0.002065	0.286830	0.463819	- 0.222654
Altura 142 cm	- 0.253506	0.259360	- 0.074373	0.061832
<u>Altura 85 cm</u>	0.090062	0.272530	0.438331	- 0.25
Norte (N)				
Sur (S)	- 0.222835	- 0.008692	0.056576	0.03
Este (E)	- 0.266172	0.166404	- 0.025595	0.13
Oeste (O)	- 0.230301	- 0.013644	0.067654	0.18
<u>Altura 142 cm</u>	- 0.257574	0.247470	- 0.025941	0.02
N				
S	- 0.267582	0.069492	0.047504	0.13
E	- 0.265600	0.189493	- 0.108447	0.10
O	0.075190	0.212338	- 0.477884	0.20
<u>Severidad</u>	0.214742	0.342197	- 0.114878	0.04
Tercio inferior (TI)				
Tercio medio (TM)	0.212861	0.367131	- 0.013367	0.02
Tercio superior (TS)	0.209999	0.340634	- 0.134419	0.08
<u>Incidencia</u>	0.268242	- 0.193830	0.078299	- 0.05
TI				
TM	0.270343	- 0.182603	0.075585	- 0.05
TS	0.234403	0.260842	0.062025	0.07

**Sitio 5. CEHUAS.** Plantas voluntarias (nacencia de soya): Viento

Durante el periodo sin cultivo de soya que fue todo el mes de Enero y hasta el 16 de Febrero, 2015, en los terrenos experimentales del CEHUAS donde hubo soya en el ciclo anterior, la semilla que quedo en el suelo a la cosecha y germinó y desarrollaron las nuevas plantas de soya (voluntarias) y que desarrollaron la enfermedad por la roya de estudio, *P. pachyrhizi*.

En estas áreas de terreno la fluctuación de uredosporas vario de 8 - 16,386 a 85 cm de altura, y de 12 - 7,030 uredosporas a 142 cm y con rangos de temperatura de 12 a 23 °C (quedo pendiente hacer Cuadro). En ambas alturas de las trampas, la densidad de inoculo secundario se correlaciono por igual con vientos del S, E y O (Cuadro 32).

**Cuadro 32.** Correlación de la fluctuación de la densidad de uredosporas de la roya asiática en ambas alturas en ausencia de cultivo en plantas voluntarias durante el ciclo Otoño-Invierno 2015 en el CEHUAS.

VARIABLES	$\rho$	p_value
<u>Altura 85 cm x DIS</u>		
Sur (S)	0.99	< 0.0001**
Este (E)	0.99	< 0.0001**
Oeste (O)	0.81	< 0.0001**
<u>Altura 142 cm x DIS</u>		
S	0.99	< 0.0001**
E	0.73	< 0.0001**
O	0.86	< 0.0001**

$\rho$ = coeficiente de correlación, **p\_value**= nivel de significancia, \*\*=  $\alpha = 0.01$  Altamente significativo, DIS = Densidad de Inoculo Secundario.

Estos datos sugirieron que las plantas voluntarias fueron una fuente importante de inóculo secundario de la roya de la soya en ausencia del cultivo de soya, mientras se den las condiciones óptimas para el desarrollo de la enfermedad. También de que al igual que las malezas hospedantes de la roya, las plantas voluntarias (nacencia) de soya, son otro reservorios de la roya asiática de la soya y actúan como un puente verde para este fitopatógeno biotrofico (obligado).

Incidencia y severidad. Quedo pendiente de analizar e incluir.

## Componentes Principales

*Estos análisis como indicado en Cap. II, fueron por instrucción directa de la Asesora, Dra. Ma. del Pilar Rodríguez Guzmán, y que no se respaldan con ningún nivel de coeficiente de probabilidad y/o de significancia, y tampoco se encontraron en la literatura artículos con este tipo de análisis*

De acuerdo al análisis se identificaron cinco vectores que en conjunto explicaron el 86 % (Cuadro 33). Por lo que el primer componente principal se compuso de la altura y orientación de las trampas, que influyeron con un 44 % en la densidad del inóculo secundario muestreado. El segundo componente principal estuvo asociado a la temperatura e influyó con un 19 % en la disponibilidad del inóculo secundario. El tercer componente principal explicó el 10 % de la variación total y estuvo conformado por la variable DV. El 7 % se asoció a la precipitación; el constituye del cuarto componente principal y finalmente el quinto componente principal indicó que la densidad del inóculo secundario se relacionó con la VV y la HR que conjuntamente explicaron el 6 % (Cuadro 34).

**Cuadro 33.** Vectores principales identificados a través del análisis de componentes principales para las variables evaluadas en función de la densidad del inóculo secundario en el CEHUAS ciclo tardío Otoño-Invierno 2014-2015, en Altamira, Tamaulipas.

	Autovalor †	Diferencia	Proporción ¶	Acumulada ✓
1	7.59	4.42	0.44	0.44
2	3.16	1.48	0.19	0.63
3	1.68	0.50	0.10	0.73
4	1.18	0.13	0.07	0.80
5	1.04	0.24	0.06	0.86

† Autovalor corresponde a la varianza del componente.

¶ Proporción de la variabilidad explicada por cada valor característico.

✓ Proporción acumulada de la variabilidad total explicada por los valores característicos.

**Cuadro 34.** Variables que conforman cada vector principal y sus varianzas que indican su influencia en la densidad del inóculo secundario muestreado en el CEHUAS durante ciclo tardío Otoño-Invierno 2014-2015, en Altamira Tamaulipas.

Variables	Componente principal				
	1	2	3	4	5
Precipitación (Pp)	- 0.03	- 0.20	- 0.06	- <b>0.62</b>	0.37
<u>Temperatura</u> máxima (Tx)	0.06	0.45	- 0.30	- 0.03	0.00
mínima (Tn)	- 0.06	0.32	0.46	0.11	- 0.28

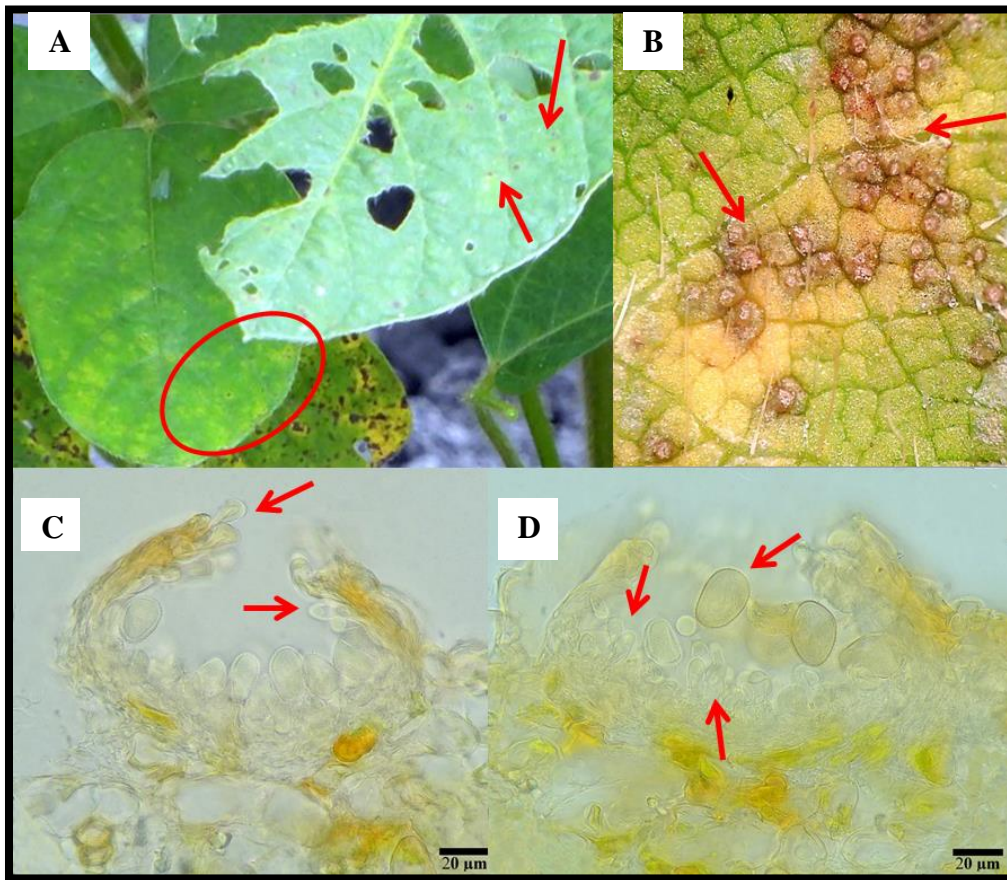
media (Tm)	- 0.06	0.32	0.46	0.11	- 0.28
Velocidad del viento (VV)	- 0.03	0.13	0.39	0.44	0.47
Dirección del Viento (DV)	- 0.04	- 0.18	0.47	- 0.01	0.38
Humedad relativa (HR)	- 0.15	- 0.18	0.19	- 0.17	- 0.39
Altura 85 cm	0.36	- 0.04	0.03	0.03	- 0.00
Altura 142 cm	0.36	- 0.02	0.05	0.00	- 0.02
<u>Altura 85 cm</u>					
Norte (N)	0.01	0.26	- 0.32	0.04	0.42
Sur (S)	0.36	- 0.04	0.03	0.03	- 0.00
Este (E)	0.36	- 0.04	0.03	0.00	- 0.01
Oeste (O)	0.31	- 0.14	- 0.18	0.25	0.03
<u>Altura 142 cm</u>					
N	- 0.09	- 0.38	- 0.22	0.42	- 0.16
S	0.36	- 0.03	0.04	0.01	- 0.01
E	0.27	0.14	0.23	- 0.33	- 0.12
O	0.35	- 0.05	0.04	- 0.00	- 0.02

### 3.3.3 Identificación morfológica

**Síntomas:** Áreas necróticas en el haz (con tejidos circundantes amarillentos), y envés de las hojas áreas necrosadas algo poligonales que forman uredias. Áreas necrosadas de: 0.12-0.7(-1.0) x 0.2-1.0(-2.0) cm, y que pueden colapsar para necrosar toda la hoja (Figura 18A, 18B).

**Signos:** las uredias se observaron en el envés de las hojas, solas o en grupos formando áreas poligonales. Estas uredias fueron pequeñas, de (51-)74-230(-257.5) x (62.5-)105.7-217(-240)  $\mu\text{m}$ , de forma ampular con poro (abertura redondeada) al centro de 40-101.25(-122.5)  $\mu\text{m}$ , y de coloración bronceada a marrón amarillento, a rojizo (Figura 18C, D), de origen subepidermal, y con peridio rodeado internamente por paráfisis (Figura 18C).

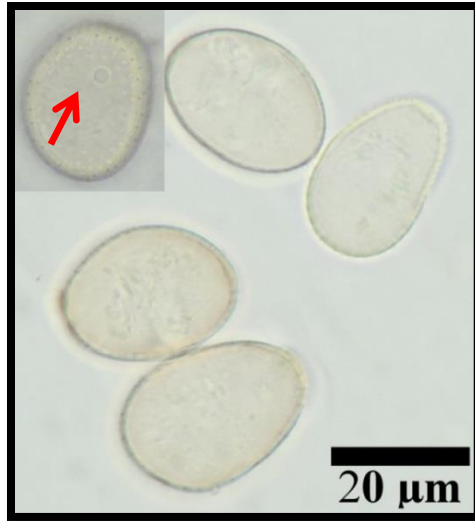
Paráfisis cilíndricos, clavados y engrosados apicalmente, de 25-46.2(-50) x 6-12.5(-13)  $\mu\text{m}$ ; de coloración marrón amarillento pálido a incoloro (Figura 18C), y presencia de uredosporas de aspecto granular-polvoso.



**Figura 18.** Síntomas y signos de *P. pachyrhizi* en soya (*G. max*) durante el ciclo Primavera-Verano 2014 (16 de octubre al 30 de diciembre) en el CEHUAS de Altamira Tamaulipas. **Síntomas:** A) Manchas necróticas de la roya asiática de la soya en el haz de los folíolos de soya en la parte inferior de la planta. **Signos:** B) Uredias de la roya asiática en un foliolo de soya dispersos y en grupo y con producción de uredosporas polvosas de coloración canela. C) Corte longitudinal de una uredia que muestra paráfisis. D) Corte longitudinal de una uredia que muestra paráfisis y uredosporas sésiles.

### Uredosporas:

Estas fueron observadas sésiles, ovoides a elipsoides, equinuladas de coloración pardo amarillento a incoloros, con dimensiones de (17.5-)20-32.5(-37.5) x (15-)22.5-25.0  $\mu\text{m}$  con dos poros germinativos (Figura 18D, Figura 19), y fueron similares a las descripciones reportadas por Ono *et al.* (1992) para *P pachyrhizi*.



**Figura 19.** Uredosporas de coloración amarillo pálido de forma ovoide de *P. pachyrhizi* con un poro germinativo visible.

### **Teliosporas**

Telias (Figura 20A, B). Se identificó a *P. pachyrhizi* a partir de las telias cafés formadas en los folíolos de soya e intercaladas con las uredias en el envés de los folíolos, y que midieron: (67.5-92.5-235(-237.5) x (42.5-)53.7-130(-141) x  $\mu\text{m}$ . Las colectas de material de herbario con telias se enlistan en Cuadro 35. Las telias fueron costrosas de color castaño chocolate, de origen subepidermal.

Teliosporas (Figura 20A, B). Estas fueron enterradas, y se caracterizaron por ser unicelulares dispuestas irregularmente en hileras (2-3 observadas), subglobosas, angularmente oblongas a elipsoidales, de color marrón amarillento y con dimensiones de (10-)15-26 x 6-12  $\mu\text{m}$ . Se diferenciaron de *P. meibomia* por su pared con espesor uniforme de 1  $\mu\text{m}$  y un ligero engrosamiento en la parte apical de 3  $\mu\text{m}$  en las teliosporas de las capas superiores. Las telias siempre cerradas se encontraron comúnmente visibles intercaladas con la fase asexual, uredias, en la superficie del envés de hojas (Figura 20A), y también enterradas debajo de la uredia (Figura 20B). Las características morfológicas fueron en acorde con las reportadas por Ono *et al.* (1992).

El material sintomático se depositó en el herbario CMPH del Colegio de Postgraduados-Fitopatología.

**Cuadro 35.** Periodo de muestreo en los que se detectó la fase sexual, telias con teliosporas de *P. pachyrhizi* en el cultivo de soya en Altamira, Tamaulipas.

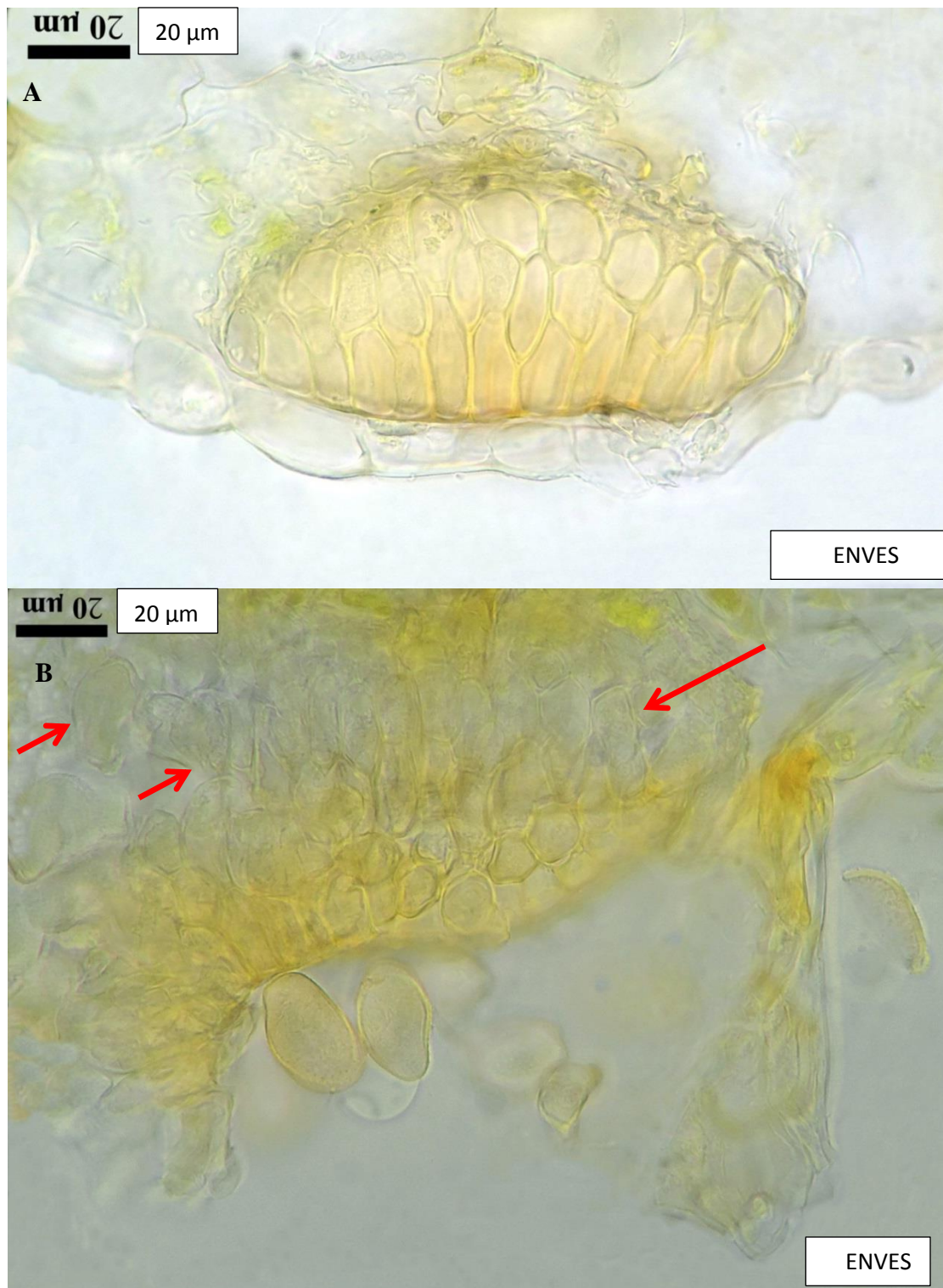
SITIO DE MUESTREO	ETAPA FENOLÓGICA DE LA SOYA	FECHA DE MUESTREO
1. CEHUAS	R7	13 noviembre 2014
2. La Resolana	R7	13 noviembre 2014
3. CEHUAS	R5	27 diciembre 2014
4. CEHUAS	V6	17 marzo 2015
4. CEHUAS	V10	24 marzo 2015
5. CEHUAS	<b>Plantas voluntarias de soya en R5</b>	24 marzo 2015
6. San Luis Potosí (SLP)	<b>Maleza en floración</b> [ <i>Desmodium sericophyllum</i> var. <i>strobilaceum</i> (Schltdl.) N. Zamora]*	24 marzo 2015

\*Zamora, 2000

**Sitio 6. SLP: maleza en floración**

La maleza, *Desmodium sericophyllum* var. *strobilaceum* (Schltdl.) N. Zamora, fue identificada en la UNAM, herbario MEXU, por la Dra. Lourdes Rico Arce (comunicación personal; e-mail: l.rico@st.ib.unam.mx) y según la referencia de Zamora (2000).





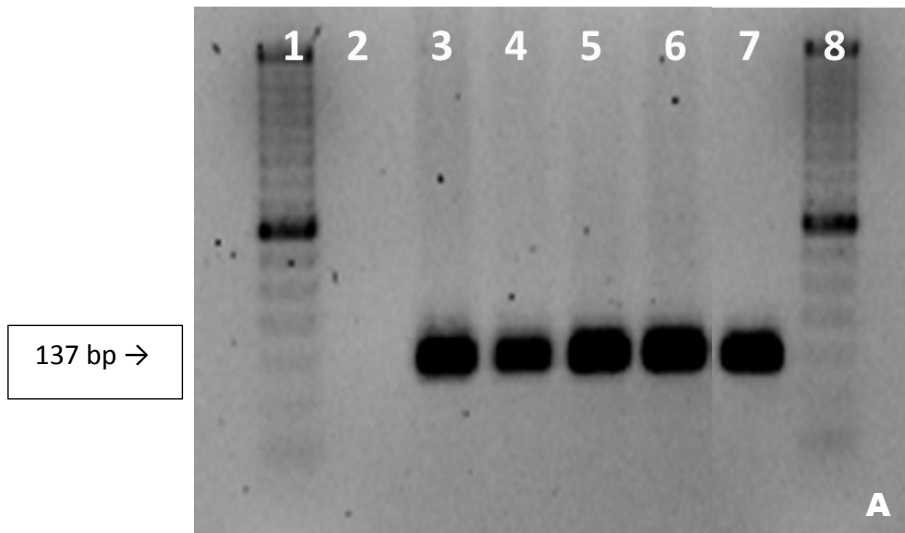
**Figura 20.** A) Corte longitudinal de una telia en el envés de un foliolo de soya del 27 de diciembre de 2014, se observa que es de origen subepidermal con teliosporas catenuladas-enterradas, telia costrosas de color castaño a chocolate, y teliosporas de forma subglobosa y angulares que se producen en forma catenular dispuestas irregularmente. B) Fase sexual, telia con teliosporas (fechas rojas) de *P. pachyrhizi* que se formó baja la uredia.

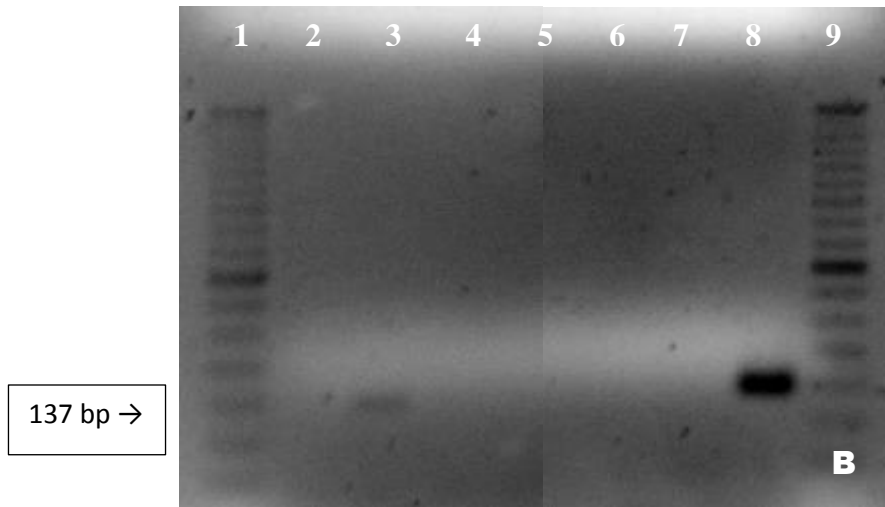
### 3.3.4 Identificación molecular

1. De tejido sintomático muestreado, bandas de PCR con primers específicos, Ppm1-Ppa2 (Figura 21A) de *P. pachyrhizi* de acuerdo con Frederick *et al.* (2002). Al momento se tuvieron dos secuencias de uredosporas: Número de accesión: **KX534086** y **KX534087**. Se continuara con otras secuenciaciones (Cuadro 36).

2. De uredosporas en portaobjetos-trampa a 85 cm altura en CEHUAS de 19 Dic. 2014 (M14-Norte, No. 5), al momento se logró una secuencia que correspondió a *P. pachyrhizi* según BLAST en NCBI y que se deposito en NCBI: número de accesión **KX840065**.

3. En Figura 21, banda de teliosporas con primers específicos Ppm1-Ppa2 (Figura 21B) de *P. pachyrhizi* de acuerdo con Frederick *et al.* (2002). Se continuara con secuenciación (Cuadro 36).





**Figura 21.** Gel de agarosa con productos amplificados de PCR con primers específicos para *P. pachyrhizi*. **A)** Uredias: Carril 1 y 8, marcador; Carril 2, control negativo; Carril 3 a 6 productos de PCR de tejidos de soya sintomáticas y Carril 7, Control positivo de acuerdo al Cuadro 35. **B)** Telias: Carriles 1 y 9, marcador (100 bp); Carril 2, control negativo; Carril 3, producto de PCR de las telias de la roya de la soya del 13 de noviembre del 2014; Carril 4 al 7 no se obtuvo ningún producto de PCR de las muestras de teliosporas de la roya; Carril 8, control positivo descritos (Cuadro 35).

**Cuadro 36.** Muestras recolectadas para su análisis molecular a partir de ejido con síntomas y signos de *P. pachyrhizi* en su estado asexual (uredosporas) y sexual (teliosporas).

SITIO DE MUESTREO	ETAPA FENOLÓGICA DE LA SOYA	FECHA DE MUESTREO
1 - CEHUAS	R7	13-noviembre-2014
2 - Rancho La Resolana	R7	13-noviembre-2014
3 - CEHUAS	R5	27-diciembre-2014
4 - CEHUAS	V6	17-marzo-2015
5 - CEHUAS	V10	24-marzo-2015
6. SLP: maleza	R	24-marzo-2015

En general al comparar los resultados de este estudio con los de otros autores se tuvo que: en trabajos similares realizados en la Estación Experimental Agropecuario Reconquista Argentina, por Cracogna (2007) con trampas caza esporas a 1.20 m de altura acondicionados con veletas

obtuvieron buenos resultados con trampas colocadas con una inclinación de 45 °C con detecciones realizadas en octubre, sin embargo la enfermedad en campo se presentó a mediados de diciembre durante el ciclo agrícola 2004/2005, mientras que para el ciclo 2005/2006 las detecciones de la roya asiática de la soya se realizaron a partir del 14 de marzo confirmando su presencia en campo a finales del mismo mes. En contraste con nuestros resultados después de las detecciones realizadas del inóculo primario y secundario no se observaron periodos de tiempo sin la presencia de uredosporas de *P. pachyrhizi* de septiembre de 2014 a mayo de 2015, mientras que la presencia de la enfermedad en campo se diagnosticó a partir de la segunda quincena de octubre. Por otra parte Cracogna (2007) asocio la aparición de la enfermedad en campo con precipitaciones intensas algo similar a lo observado en el presente trabajo donde las precipitaciones antecedieron a la detección de las infecciones primarias en campo.

Por otra parte De Ruyver *et al.* (2011) en Argentina en un estudio sinóptico, con trampas caza esporas observaron mayores detecciones de *P. pachyrhizi* de noviembre a mayo algo similar a lo observado en el presente trabajo con la diferencia de que también se obtuvieron las mayores densidades de uredosporas de *P. pachyrhizi*. En otros trabajos realizados por Hipolito-Cruz, (2015) en Ébano y Tamuín del estado de San Luis Potosí reportaron mayores detecciones de uredosporas de la roya asiática de la soya a partir del mes de octubre a noviembre del 2013 y una disminución en el mes de diciembre, dichos resultados coinciden con las obtenidas en el presente trabajo. Sin embargo, no se detectó la disminución del inóculo secundario de la roya asiática de la soya en el sur de Tamaulipas durante el mes de diciembre al contrario se observó un notable aumento. Por otro lado en el sur de Tamaulipas Guerrero-Parra *et al.* (2012) reportó detecciones realizadas con trampas de esporas tipo Hirst durante los meses de septiembre a diciembre de 2010, y en enero, febrero y abril de 2011, estos resultados se asemejan a los obtenidos durante el ciclo agrícola primavera-verano 2014 del presente estudio. Pero sus resultados difieren un poco al no realizar detecciones positiva en el mes de marzo del 2011 en contraste con nuestros resultados obtenidos en 2015. En cuanto a la severidad e incidencia estos fueron mayores durante el ciclo otoño-invierno acabando con el cultivo de soya en contraste con el ciclo primavera-verano. Lo que coincide por lo reportado por Fajardo-Franco *et al.* (2014) durante el 2012 y 2013 donde observaron una baja ocurrencia de la enfermedad en siembras tempranas, mientras que en siembras tardías la incidencia fue del 100 % con severidades del 60 % y pérdidas en el rendimiento del 100 %.

### 3.4. CONCLUSIONES

Con o sin el cultivo de soya, en el sur de Tamaulipas se detectó el inóculo secundario de la roya asiática de la soya en lluvia y/o viento desde el 20 de Octubre, 2014 hasta el 21 de Mayo, 2015.

En lluvia fueron mínimas las uredosporas colectadas en el CEHUAS y La Resolana, y no se correlacionaron con las variables climatológicas evaluadas. En viento se detectó alta densidad de del inoculo secundario, uredosporas.

Las siembras de Primavera-Verano como esperado escaparon a la enfermedad. La fluctuación de uredosporas fue notoria en Noviembre y se correlacionaron con todas las direcciones del viento y temperaturas; y la temperatura mínima se correlaciono con severidad baja (0.12-1.7 %) e incidencia alta (21-91 %).

Las siembras de Otoño-Invierno fueron las más afectadas y registraron temperaturas propicias a la enfermedad. La fluctuación de uredosporas fue notoria en dos fechas: en Diciembre 2014 con severidad alta (75 %), y se correlacionaron con todas las direcciones del viento e incidencia (100 %); y en Marzo y Abril, 2015 que se correlacionaron con el viento del Norte, y la temperatura media con severidad (38 %) e incidencia (100%).

En ausencia del cultivo, las plantas voluntarias de soya mostraron ser un hospedante alternativo de la roya y fuente de inoculo secundario. Esto al igual que la maleza identificada en SLP.

La identificación de la roya en plantas sintomáticas y uredosporas trampeadas se respaldó por análisis moleculares. Se identificó además la forma sexual en la roya de la soya, telia con teliosporas. Esta es la primera vez que se reporta esta fase sexual en el cultivo de soya en México.

El análisis de Componentes Principales invirtió tiempo sin límites y no fueron estadísticamente confiables.

### 3.5 LITERATURA CITADA

- Agrios, N. G. 2005. Plant Pathology. 5<sup>th</sup> Ed. Elsevier Academic Press. San Diego, CA, USA. 922 p.
- Barnes, C. W., L. J. Szabo, and V. C. Bowersox. 2009. Identifying and quantifying *Phakopsora pachyrhizi* spores in rain. *Phytopathology*. 99:328–338.
- Boerlijst, M. C., and W. M. Van Ballegooijen. 2010. Spatial pattern switching enables cyclic evolution in spatial epidemics. *PLoS Comput. Biol.* 6:e1001030.
- Christiano, R. S. C., and Scherm, H. 2007. Quantitative aspects of the spread of asian soybean rust in the southeastern United States, 2005 to 2006. *Phytopathology*. 97:1428–1433.
- Cracogna, M. F. 2007. A la caza de la roya de la soja en Reconquista. Disponible en: <http://www.ellitoral.com/accesorios/imprimir.php?id=/diarios/2007/02/03/laregion/REG-08.html> (consultado en Abril, 2016).
- De Ruyver, R., J. De Souza, S. A. Bischoff y N. Formento. 2011. Circulación atmosférica asociada a los casos de aparición de esporas de roya de la soja en Paraná, Argentina. *Meteorológica*. 36(1):19-29.
- Dufault, N. S., S. A. Isard, J. J. Marois, and D. L. Wright. 2010. The influence of rainfall intensity and soybean plant row spacing on the vertical distribution of wet deposited *Phakopsora pachyrhizi* urediniospores. *Can. J. Plant Pathol. Can. Phytopathol.* 32:162–169.
- Fajardo-Franco, M. L., R. A. Guzmán-Plazola y A. P. Terán-Vargas. 2014. Desarrollo epidémico de la roya asiática de la soja y su efecto en el rendimiento en el sur de de tamaulipas. *Rev. Mex. Fitopatol.* 32:S41p.
- Fehr, W. R., C. E. Caviness, D. T. Burmood, and J. S. Pennington. 1971. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. *Crop Sci.* 11:929–931.
- Frederick, R. D., C. L. Snyder, G. L. Peterson, and M. R. Bonde. 2002. Polymerase chain reaction assays for the detection and discrimination of the soybean rust pathogens *Phakopsora pachyrhizi* and *P. meibomia*. *Phytopathology* 92:217–227.
- Garrett, K. A., M. Nita, E. D. De Wolf, P. D. Esker, L. Gomez-Montano, A. H. Sparks. 2016. Plant pathogens as indicators of climate change. *In: Climate Change: observed impacts on planet earth.* (ed.) L. Trevor. Second edition. Elsevier B. V. pp:325-338.
- Godoy, C. V., L. J. Koga, and M. G. Canteri. 2006. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. *Fitopatologia Brasileira* 31:063-068.
- Guerrero-Parra, H. A., Terán-Vargas, A. P., Reyes-Montes, R., Cárcamo-Rodríguez, A., Gómez-Arroyo, S., and Calderón-Ezquerro, C. 2012. Estudio Aerobiológico y detección Molecular de uredosporas de *Phakopsora pachyrhizi* causante de la roya asiática en cultivos de soja en México. *In: Congreso Nacional de Genética.* (eds.) Valencia Q, R., Sánchez A, J., Villalobos P, R. Gómez A, S., y Amescua G, C. Mazatlán, Sinaloa,

- México. 3-5 octubre. Rev. Int. Contam. Ambient. 28:70.
- Hipólito-Cruz, G., L. Rodríguez-Tenorio, C. Aldama-Aguilera, M. Algara-Siller, C. Calderón-Ezquerro, D. E. Flores-Jiménez, y R. González-Gómez. 2015. Monitoreo de *Phakopsora* spp. con trampas pasivas de esporas en San Luis Potosí. Rev. Mex. Fitopatol. 33:S122.
- Isard, S. A., C. W. Barnes, S. Hambleton, A. Ariatti, J. M. Russo, A. Tenuta, D. A. Gay, and L. J. Szabo. 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., J. M. Russo, and E. D. DeWolf. 2006. The establishment of a national pest information platform for extension and education. Plant Heal. Prog. :1–4.
- Krupa, S., V. Bowersox, R. Claybrooke, C. W. Barnes, L. Szabo, K. Harlin, and J. Kurle. 2006. Introduction of asian soybean rust urediniospores into the midwestern United States—a case study. Plant Dis. 90:1254-1259.
- Levy, C. 2005. Epidemiology and chemical control of soybean rust in Southern Africa. Plant Dis. 89:669–674.
- Maldonado, M. N., G. L. Ascencio, y J. V. Ávila. 2007. Guía para cultivar soya en el sur de Tamaulipas. Folleto para Productores Núm. 2. Campo Experimental Sur de Tamaulipas, CIRNE-INIFAP. Altamira, Tam., México. 83 p.
- McCartney, H. A., B. D. L. Fitt, and D. Schmechel. 1997. Sampling bioaerosols in plant pathology. J. Aerosol Sci. 28:349–364.
- Ono, Y., P. Buriticá, and J. F. Hennen. 1992. Delimitation of *Phakopsora*, *Physopella* and *Cerotelium* and their species on Leguminosae. Mycol. Res. 96:825–850.
- Sanatkar, M. R., C. Scoglio, B. Natarajan, S. A. Isard, and K. A. Garrett. 2015. History epidemic evolution, and Model Burn-In for a Network of Annual Invasion: Soybean Rust. 105:947–955.
- Subbarao, K. V., G. W. Sundin, and S. J. Klosterman. 2015. Focus issue articles on emerging and re-emerging plant diseases. Phytopathology. 105:852–854.
- Tremblay, A., P. Hosseini, N. W. Alkharouf, S. Li, and B. F. Matthews. 2010. Transcriptome analysis of a compatible response by Glycine max to *Phakopsora pachyrhizi* infection. Plant Sci. 179:183–193.
- Zamora, N. 2000. Nuevas especies y combinaciones en leguminosas de Mesoamérica. Novon. 10: 175-180.

## **RECOMENDACIONES GENERALES**

1. Usar trampas para lluvia de boca ancha, al menos de 25 cm
2. Trampas a 142 cm de altura son las únicas confiables
3. Monitorear e intensificar análisis de la velocidad del viento
4. Interpretar datos con análisis de regresión.