



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Especialidad/Maestría/Doctorado

## Modelo de simulación de la patogénesis de *Phakopsora pachyrhizi* en frijol común (*Phaseolus vulgaris*)

### TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Doctor en Ingeniería

**Presenta:**

Ricardo Yáñez López

**Dirigido por:**

Dr. Enrique Rico García

### SINODALES

Dr. Enrique Rico García  
Presidente

Dr. Irineo Torres Pacheco  
Secretario

Dr. Ramón Gerardo Guevara González  
Vocal

Dr. Gabriel Díaz Padilla  
Suplente

Dr. Gerardo Marín Soto Zarazúa  
Suplente

Dr. Aurelio Domínguez González  
Director de la Facultad

Firma  
Firma  
Firma  
Firma  
Firma  
Firma

Dr. Irineo Torres Pacheco  
Director de Investigación y  
Posgrado

Centro Universitario  
Querétaro, Qro.  
Mayo 2014  
México

## RESUMEN

La roya asiática es una enfermedad que en México se ha presentado durante los últimos años en los estados de Tamaulipas, San Luis Potosí, Veracruz, Campeche Chiapas, Sinaloa, Nayarit, Guanajuato y Yucatán, en cultivos como soya, jícama y frijol lo que ponen en riesgo estos productos agrícolas debido a los daños económicos que puede causar. En México, la Dirección General de Sanidad Vegetal ha establecido estrategias de monitoreo y manejo de la enfermedad a través del Programa de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria en coordinación con los organismos auxiliares de sanidad vegetal. En la actualidad la estrategia para controlar la enfermedad es conducida con enfoque reactivo. Para contribuir con herramientas a la estrategia del manejo de la enfermedad, se desarrolló un modelo de la epidemia de roya asiática, el cual se alimenta con datos diarios de las variables climáticas temperatura, precipitación, y humedad relativa. El modelo estima la severidad de la enfermedad. Comparando las estimaciones del modelo con datos de campo se encontró una relación altamente significativa, lo cual indica que el modelo puede utilizarse de manera confiable. Como complemento se realizó un análisis de riesgo de infección debido al clima analizando la probabilidad de presencia de la enfermedad debida al clima, se analizaron series históricas de datos meteorológicos de todo el país, encontrando que el ciclo primavera-verano tiene una alta probabilidad de que la enfermedad se presente en grandes extensiones del país.

**Palabras clave:** *Phakopsora pachyrhizi*, Modelo simulación, roya asiática, *Glycine max*, *Pachyrhizus erosus*.

## SUMMARY

Asian soybean rust, Caused by *Phakopsora pachyrhizi*, is a disease that has been presented in Mexico in recent years in areas of the states of Tamaulipas, San Luis Potosi, Veracruz, Campeche, Chiapas, Sinaloa, Nayarit, Guanajuato and Yucatan, in crops such as soybeans, yam bean and dry bean which threaten these agricultural products because of the economic damage it can cause. In Mexico, the Plant Health Directorate has established strategies for monitoring and management of the disease through epidemiological surveillance campaign. At present the strategy to control the disease is driven by reactive approach. To contribute with the strategy of disease management, a model of Asian rust epidemic has been developed. This model is fed with daily data on weather variables: temperature, precipitation, and relative humidity. The model estimates the severity of the disease. Comparing model estimations with field data a highly significant correlation was found, indicating that the model can be used reliably. As a complementary activity, an infection risk analysis depending on weather conditions was carried out, analyzing the probability of disease presence. Time series of weather data from around the country were studied. It was found that the spring cycle has a high probability that the disease is present in large areas of the country.

**Key words:** *Phakopsora pachyrhizi*, simulation model, soybean rust, *Glycine max*, *Pachirhizus erosus*.

## DEDICATORIA

A mis padres y hermanos, abuelos (Juan, Cuca).

Con todo mi amor para mi esposa  
Isabel por su paciencia y motivación....

a mis

hijos

Bryan Ricardo

Christopher Omar

Y nuestro nuevo bebé...

En memoria del Dr. Everardo Villareal Farías

## **AGRADECIMIENTO**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México por el apoyo, mediante beca para mis estudios de doctorado.

A la Universidad Autónoma de Querétaro, en particular a la Facultad de Ingeniería y al Cuerpo Académico de Ingeniería de Biosistemas por el apoyo brindado para realizar mis estudios.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), a través del Centro de Investigación Regional Centro y el Campo Experimental Bajío (CEBAJ), por las facilidades para desarrollar este trabajo de investigación.

Al Comité estatal de Sanidad Vegetal de Guanajuato A.C. Por las facilidades otorgadas para el manejo y análisis de los datos de campo.

Al Dr. Enrique Rico García por haber aceptado ser el director de la investigación, su apoyo, orientación, consejos y sobre todo por su infinita paciencia en el desarrollo de este trabajo.

Al Dr. Irineo Torres Pacheco por sus consejos apoyo y tan agradables charlas formativas que tuvimos durante el doctorado.

Al Dr. Ramón Gerardo Guevara González por su orientación.

Al Dr. Gabriel Díaz Padilla por su apoyo como codirector de este trabajo.

# INDICE

<b>RESUMEN</b> .....	i
<b>SUMMARY</b> .....	ii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iii
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	iv
<b>INDICE</b> .....	v
<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	viii
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	ix
<b>I. INTRODUCCION</b> .....	1
1.1 Hipótesis.....	2
1.2 Objetivo. ....	2
1.2.1 Objetivos específicos.....	3
<b>II. REVISION DE LITERATURA</b> .....	4
2.1 La Roya Asiática. ....	4
2.1.1 Hospederos.....	5
2.1.2 Síntomas y signos. ....	7
2.1.3 Morfología. ....	8
2.1.4 Ciclo de vida.....	8
2.1.5 Epidemiología.....	9
2.1.6 Muestreo en campo y su control.....	10
2.1.8 Avances en el modelaje de roya de la soya. ....	11
2.2 Dinámica de sistemas y modelos de simulación. ....	13
2.2.1 Diagrama causal o de influencia .....	13
2.2.2 Diagrama de flujo o de Forrester .....	14
2.2.3 Tipos de modelos. ....	15

2.3 Etapas para la construcción de modelos de simulación dinámica.....	15
2.4 Software para la construcción de modelos dinámicos.....	16
<b>III. METODOLOGIA .....</b>	<b>18</b>
3.1 Evaluación de las condiciones de temperatura y humedad que se requieren para la germinación de uredosporas de <i>P. pachyrhizi</i> .....	18
3.1.1 Procedencia y Mantenimiento del Inóculo. ....	18
3.1.2 Cámara Bioclimática Utilizada. ....	19
3.1.3 Preparación de uredosporas <i>In Vitro</i> . ....	20
3.1.4 Evaluación de la Germinación. ....	21
3.1.5 Manejo de la información y análisis estadísticos para la prueba de germinación de uredosporas. ....	21
3.2 Modelo dinámico de crecimiento de la biomasa del hospedante. ....	22
3.3 Construcción del modelo de infección de <i>P. pachyrhizi</i> .....	25
3.3.1 Construcción del modelo conceptual.....	25
3.3.2 Construcción del modelo dinámico.....	26
3.4 Análisis del riesgo de infección de roya de la soya ( <i>P. pachyrhizi</i> ) bajo diferentes escenarios de clima en México.....	32
3.4.1 Detecciones positivas de roya asiática de la soya en México. ....	33
3.4.2 Mapa de la disponibilidad del hospedero. ....	34
3.4.3 Análisis de clima de la distribución potencial de la enfermedad.....	34
3.4.4 Mapa de riesgo final a partir del mapa de hospederos y de riesgo climático. ....	36
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>	<b>37</b>
4.1 Evaluación de las condiciones de temperatura y humedad que se requieren para la germinación de uredosporas de <i>P. pachyrhizi</i> .....	37
4.2 Modelo dinámico de crecimiento de la biomasa del hospedante. ....	39
4.3 Construcción del modelo de infección de <i>P. pachyrhizi</i> .....	42

4.4 Análisis el riesgo de infección de roya de la soya ( <i>P. pachyrhizi</i> ) bajo diferentes escenarios de clima en México.....	52
4.4.1 Resultados del ciclo otoño invierno.....	54
4.4.2 Resultados del ciclo Primavera-verano.....	55
4.4.3 Análisis de riesgo por mes.....	56
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>61</b>
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>62</b>
<b>Anexo 1. Documentación entregada a INDAUTOR para el registro de la propiedad intelectual.....</b>	<b>66</b>
<b>Anexo 2. Documentación del modelo.....</b>	<b>88</b>
<b>Anexo 3. Artículo: the effect of climate change on plant diseases.....</b>	<b>111</b>
<b>Anexo 4. Artículo: efecto de la temperatura y humedad relativa en la germinación de esporangios de <i>Bremia lactucae</i> Regel.....</b>	<b>112</b>
<b>Anexo 5. Certificado de derechos de autor del modelo de la patogénesis de roya asiática.....</b>	<b>112</b>



## INDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Hospederos de <i>Phakopsora pachyrhizi</i> .....	6
2. Cultivos hospederos de importancia económica en México: superficie sembrada, producción y valor de la producción en el año 2009. ....	7
3. Requerimientos térmicos utilizados para determinar la duración del ciclo y desarrollo fenológico de los cultivos de soya, jícama y frijol (Temperatura base 10).....	23
4. Fracción de crecimiento de órgano por edad fisiológica de los tres cultivos hospederos. ....	24
5. Superficie sembrada (ha) de cinco hospederos de roya asiática en los ciclos de invierno y primavera verano en el año 2010 (SIAP, 2011). ....	54

## INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Hoja con síntomas de roya Asiática (izquierda) y cultivo de soya infectado con <i>P. pachyrhizi</i> con y sin control químico.....	8
2. Ciclo de vida de la enfermedad. ....	9
3. Cámara bioclimática utilizada en el experimento. ....	20
4. Colocación de uredosporas en el portaobjetos.....	20
5. Conteo de uredosporas germinadas.....	21
6. Módulo de Edad fisiológica del hospedante. ....	23
7. Módulo de Acumulación de materia seca .....	24
8. Diagrama causal donde se delimitan los elementos más importantes en la epidemia causada por <i>Phakopsora pachyrhizi</i> . ....	26
9. Modelo dinámico construido en Vensim®, de la epidemia de roya de la soya. ....	31
10. Detecciones de roya asiática de la soya por el Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Guanajuato A.C. durante el 2013. ....	32
11. Curva que para determinar el riesgo a la enfermedad. ....	36
12. Comparación de germinación de uredosporas de <i>P. pachyrhizi</i> en los estudios realizados por Marchetti (1975), Bonde (2007) y los realizados en este estudio. ....	38
13. Desarrollo fenológico simulado de frijol, soya, jícama. En el eje de la ordenada tenemos la edad fisiológica expresada en valores numéricos, en donde: 1= EF1(Plántula), 2=EF2 (Iniciación floral); 3=EF3(Llenado de grano o formación de tubérculo); 4= EF4(madures fisiológica).....	39
14. Duración del ciclo de los cultivos de jícama soya y frijol como resultado de las simulaciones con fecha de siembra del 31 de marzo del 2013. Para el caso de jícama de utilizo la variedad San Juan, para soya la variedad Huasteca y para frijol Flor de Junio Marcela. ....	40
15. Crecimiento del peso seco de la hoja, como función de la producción de fotosíntesis utilizando el modelo de frijol de Inifap. ....	41
16. Estimación del área foliar de frijol expresado en metros cuadrados de hoja por metros cuadrados de suelo, el modelo permite obtener diferencias entre localidades.....	41
17. Rendimiento de grano de soya utilizando el modelo de simulación en función de la disponibilidad de radiación, así como la eficiencia en el uso de la radiación. ....	42

Figura	Página
18. (a) Dinámica de deposición y germinación de esporas y (b) Distintos tipos de lesiones causadas por <i>P. pachyrhizi</i> , simuladas, con la estación El Huaricho de Romita, Guanajuato año 2013. ....	45
19. (a) Dinámica de deposición y germinación de esporas y (b) Distintos tipos de lesiones causadas por <i>P. pachyrhizi</i> , simuladas, con la estación Purísima de Chamacuero de Comonfort, Guanajuato año 2013. ....	46
20. (a) Dinámica de deposición y germinación de esporas y (b) Distintos tipos de lesiones causadas por <i>P. pachyrhizi</i> , simuladas, con la estación La hacienda de Silao, Guanajuato año 2013. ....	47
21. (a) Dinámica de deposición y germinación de esporas y (b) Distintos tipos de lesiones causadas por <i>P. pachyrhizi</i> , simuladas, con la estación El carril, Apaseo el Grande, Guanajuato año 2013. ....	48
22. (a) Dinámica de deposición y germinación de esporas y (b) Distintos tipos de lesiones causadas por <i>P. pachyrhizi</i> , simuladas, con la estación Agroeduca, León, Guanajuato año 2013. ....	49
23. Evolución de la severidad en cinco localidades del estado de Guanajuato en el año 2013 utilizando el modelo de la epidemia de roya asiática. ....	50
24. (a) Esporas migrantes observadas y simuladas. (b) Modelos de regresión ajustados para los datos observados y simulados de esporas migrantes en las localidades de Romita, Silao, León, Celaya y Comonfort en el estado de Guanajuato en el 2013. ....	51
25. Modelos de regresión ajustados para los datos observados y simulados de severidad en las localidades de Romita, Silao, León, Celaya y Comonfort en el estado de Guanajuato en el 2013. ....	52
26. Reportes confirmados de roya asiática de la soya en México desde 2005. El mapa fue creado a partir de datos públicos de MIP-pipe (2012), SCOPE (2012) y SENASICA (2012). ....	53
27. Distribución de condiciones climáticas favorables para la roya de la soya en México. (a) invierno (noviembre a abril), (b) Verano (mayo a octubre). ....	55
28. Evolución mensual condiciones climáticas favorables para la roya de la soya por mes en la temporada de invierno (a) noviembre; (b) diciembre; (c) Enero, (d) febrero; (e) marzo; (f) abril. ....	57
29. Evolución mensual las condiciones climáticas favorables para la roya de la soya en México en la temporada de verano (a) mayo, (b) junio; (c) julio; (d) agosto; (e) septiembre; (f) octubre. ....	58

## I. INTRODUCCION

El manejo fitosanitario de los cultivos comprende una red de interacciones tan compleja que es difícil anticipar en qué momento se presentará un brote infeccioso y cuál será la respuesta del cultivo ante la presión de éstos y lo qué es más crítico, qué medidas se deben tomar para evitar pérdidas significativas en la producción. Entre las variables más importantes involucradas en estas interacciones se encuentran, la temperatura, la precipitación y la humedad relativa, la condición fisiológica del cultivo y las que son intrínsecas al organismo dañino, esto es, la población inicial o cantidad de inóculo. Esta interacción determina el efecto sobre el rendimiento el cual varía significativamente entre regiones y años (Sarasola, 1975; agrios 2005).

El estudio de procesos que llevan a una epidemia, por medio de modelos matemáticos, ha tenido un amplio desarrollo en los últimos años, y ha demostrado ser una valiosa herramienta para entender patrones y procesos epidemiológicos, siempre y cuando los modelos sean basados en el conocimiento biológico de la plaga o patógeno y relación con el clima. Esto ha permitido el desarrollo de modelos que permiten pronosticar la infección de un agente patógeno, lo que da la posibilidad de aplicar medidas oportunas en el control de enfermedades.

Diversos problemas fitosanitarios afectan la agricultura de México, tal es el caso de la roya de la soya causado por *Phakopsora pachyrhizi*, este hongo es considerado como una plaga presente sujeta a control oficial. La importancia de esta enfermedad radica en el potencial de infección del hongo ya que puede infectar a diversas leguminosas que se producen de manera comercial en el país, lo que ponen en riesgo su producción. Cultivos como Soya, jícama, alfalfa, chícharo y frijol son los principales productos agrícolas que se pueden ver afectados si esta enfermedad llega a establecerse en el país.

La roya asiática, es una enfermedad que en México se ha presentado durante los últimos años en los estados de Tamaulipas, San Luis Potosí, Veracruz, Campeche y Chiapas, en cultivos como soya y jícama lo que representa un alto riesgo debido a los daños económicos que puede causar. En México, la Dirección General de Sanidad Vegetal a través del Programa de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria y en coordinación con los Comités Estales de Sanidad Vegetal se han establecido estrategias de monitoreo y manejo de la enfermedad. En la actualidad la estrategia para controlar la enfermedad es conducida con enfoque reactivo, pero con la planeación adecuada utilizando las herramientas de modelaje puede incrementarse la eficiencia en la campaña y reducir el riesgo asociado con esta enfermedad, para que antes de que se detecten los focos de infección en parcelas centinelas, rutas de vigilancia, rutas de trampeo y áreas de exploración sea posible pronosticar el desarrollo de la enfermedad. Debido a lo anterior, en este trabajo de investigación se plantea la construcción de un modelo que represente la patogénesis de *Phakopsora pachyrhizi* que incluya el hospedero, características del patógeno, así como el comportamiento de la enfermedad en función de variables meteorológicas.

### **1.1 Hipótesis**

Dado que la patogénesis de *Phakopsora pachyrhizi* está determinada por la presión de inóculo, la susceptibilidad del hospedante, y las condiciones de humedad y temperatura en las diferentes etapas del ciclo de vida del patógeno, mediante la técnica del modelaje dinámico se pueden delimitar con precisión las zonas y los ciclos de producción en el país que presentan el mayor riesgo a esta enfermedad.

### **1.2 Objetivo.**

Construir un modelo de simulación de la patogénesis de *Phakopsora pachyrhizi* y utilizarlo en la estimación del riesgo a esta enfermedad.

### **1.2.1 Objetivos específicos.**

- Determinar las condiciones de humedad y temperatura que se requieren para la germinación de uredosporas de *P. pachyrhizi*.
- Construir el modelo de infección de *P. pachyrhizi* e integrarlo a un modelo de crecimiento de cultivo ya existente.
- Analizar el riesgo de infección de roya de la soya (*P. pachyrhizi*) en México, para determinar las áreas de establecimiento de la enfermedad.

## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1 La Roya Asiática.

La enfermedad conocida como “roya” en el cultivo de la soya, es causada por dos especies de hongos: *Phakopsora meibomiaae*, también conocida como “roya americana”; y, por *Phakopsora pachyrhizi*, denominada “roya asiática”, ASR por sus siglas en inglés (Asian Soybean Rust) (Yorinori *et al.*, 2005; Frederick *et al.*, 2002; Villavicencio *et al.*, 2007; Posada-Buitrago y Frederick, 2005; Pivonia *et al.*, 2004; Hartman *et al.*, 2004).

Taxonómicamente la roya de la soya presenta la siguiente clasificación (Alexopoulos, 1996; Cummins y Hiratsuka, 2004; Hibbett *et al.*, 2007):

Phylum: Basidiomycota,

Clase: Urediniomycetes,

Orden: Uredinales

Familia: Melampsoraceae (Phakopsoraceae).

Esta enfermedad fue reportada por primera vez en Japón en 1902 (Park *et al.*, 2007) y por décadas esta enfermedad estuvo restringida al hemisferio este, afectando soya. En las últimas dos décadas se ha detectado en nuevas áreas incluido en el continente Americano. En 1994 la enfermedad fue detectada en Hawái, en 1996 se dio el primer reporte en Uganda en el continente Africano, (Levi, 2005). En Sudamérica, en el año 2001 se reportó en Paraguay y Brasil. Par el 2002 se reportó en Argentina (Rossi, 2003). En 2004, Fue reportado en Colombia, Ecuador y los Estados Unidos (Pan *et al.*, 2006). Y para el 2005 se reportó en México, infectando soya y jícama (Cárcamo-Rodríguez, 2006; Yáñez-Morales *et al.*, 2009)

La roya de la soya es considerada la enfermedad más destructiva de la soya en Asia y América (Christiano y Schem, 2007). Las pérdidas causadas por esta enfermedad van del 10 al 90% dependiendo de la susceptibilidad del

hospedero, cantidad de inóculo y las condiciones ambientales. En soya y jícama cuando el cultivo es severamente infectado, las plantas pierden follaje, afectando la fotosíntesis, lo cual afecta directamente el rendimiento del cultivo.

En México esta enfermedad se ha detectado en El sur de Tamaulipas en los municipios de Altamira, Aldama, Mante, González, Xicoténcatl y Gómez Farías; En el Oriente de San Luis Potosí en los municipios de Ébano y Tamuín; En el Norte de Veracruz en los municipios de Panuco, Papantla, Chalma y Tampico Alto; En Chiapas en Mastepec y Tapachula y en Campeche (Terán *et al.*, 2007)

### **2.1.1 Hospederos.**

*P. pachyrhizi* es un parásito obligado, por esta causa, la sobrevivencia del hongo depende de la continua producción de uredosporas en hospedero susceptible. Este patógeno de manera natural infecta 95 especies de 42 géneros de leguminosas, y se ha encontrado infectando y esporulando en campo sobre varios géneros de la subfamilia Papilionoideae en Fabaceas (APHIS, 2002), no obstante se desconoce rango de hospederos.

En México los cultivos hospederos que presentan mayor riesgo a esta enfermedad son frijol, soya y jícama. De acuerdo con estadísticas del servicio de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP, 2012), el cultivo hospedero con mayor superficie sembrada en el año 2009 fue frijol con 1, 626, 021. 82 ha. (Cuadro 2), lo que representa un 10% de la superficie agrícola del país, esto representa un riesgo para este cultivo debido a que es parte importante de la dieta básica del mexicano.



Cuadro 1. Hospederos de *Phakopsora pachyrhizi*.

Nombre científico	Nombre común
<i>Alyscarpus glumaceus</i>	Especie de trébol
<i>Cajanus cajan</i> **	Guandú o chícharo silvestre
<i>Centrosema pubescens</i>	Centrosema o chícharo mariposa
<i>Crotalaria anagyroides</i> *	Manduvira
<i>Manduvira Delonix regia</i> *	Flamboyan
<i>Desmodium sp.</i> *	Carrapiceo
<i>Glycine max</i> *, **	Soya
<i>G. sojae</i> *, **	Soya
<i>G. clandestina</i> *	Soya
<i>G. tabacina</i>	Soya
<i>G. falcata</i>	Soya
<i>G. tabacina var. latifolia</i>	Soya
<i>Lablab purpureus</i>	Frijol Jacinto
<i>Lotus americana</i>	Trebol
<i>Lupinus hirsutus</i>	Lupino azul
<i>L. luteus</i> **	Siratros o frijol morado
<i>Macroptilium atropurpureum</i>	Lupino amarillo
<i>Maocrotyloma axillare</i>	Macrotiloma
<i>Medicago arborea</i>	Alfalfa gigante
<i>Melilotus officinalis</i> *	Trébol
<i>M. spaciosus</i>	Especie de trébol
<i>Mucuna cochinchinesis</i>	Mucuna o frijol terciopelo
<i>Neonotonia wightii</i>	Soya perenne
<i>Pachyrhizus erosus</i> *, **	Jícama
<i>Phaseolus lunatus</i> *	Frijol lima
<i>P. vulgaris</i> *, **	Frijol común
<i>Pueraria lobata</i> *, **	Kudzu
<i>P. phaseoloides</i> *	Kudzu tropical
<i>Rhynchosia minima</i> *	Frijolillo, Hierba del papan
<i>Sesbania exaltata</i> *	Sesbania
<i>S. vesicaria</i> *	Sesbania
<i>Trigonella foenum-graecum</i>	Fenugreco
<i>Vicia dasycarpa</i>	Vaina morada
<i>Vigna unguiculata</i> *, **	Caupí o sarabando
<i>Vigna radiata</i> **	Frijol mungo

\* Especies presentes en México. \*\*Principales especies hospederas (Miles *et al.*, 2003; Coker *et al.*, 2006; Terán *et al.*, 2007).

Cuadro 2. Cultivos hospederos de importancia económica en México: superficie sembrada, producción y valor de la producción en el año 2009.

<b>Cultivo</b>	<b>Superficie cultivada (Ha)</b>	<b>Producción (Ton)</b>	<b>Valor de la producción (Miles de pesos)</b>
Soya	88, 093.00	153, 022.20	\$ 696, 763. 63
Frijol	1, 626, 021. 82	1, 111, 087. 37	\$ 10, 179, 369. 77
Jícama	6, 884.85	180, 045.85	\$ 479, 422.51
Total	1, 720, 999. 67	1, 444, 155.42	\$ 11, 355, 555. 91

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2012).

### **2.1.2 Síntomas y signos.**

Se presentan generalmente en toda la parte aérea de la planta poco antes de la floración y hasta el llenado de grano, apareciendo primeramente pequeñas lesiones amarillentas de aproximadamente 1mm de diámetro en el haz de las hojas inferiores; conforme avanza la enfermedad los síntomas aparecen hacia el tercio medio y superior de la planta, las hojas se tornan cloróticas y las lesiones se manifiestan como pústulas pequeñas de color marrón-amarillento a marrón-rojizo u oscuro (Figura 1) en el envés de las hojas (Ploper, 2004). Las lesiones se presentan en el tercio inferior como consecuencia de mayor humedad y baja luminosidad. Esta enfermedad puede confundirse con otras enfermedades de la soya, como la mancha marrón (*Septoria sp.*), pústula bacteriana (*Xanthomonas sp.*) y mildiu veloso (*Peronospora manshurica*); pero en estos casos no se observa la formación de pústulas en el envés de las hojas (Terán *et al.*, 2007).



Figura 1. Hoja con síntomas de roya Asiática (izquierda) y cultivo de soya infectado con *P. pachyrhizi* con y sin control químico.

### 2.1.3 Morfología.

Los soros o pústulas son de color café claro y se presentan en el envés de las hojas. Las telias alcanzan un diámetro de 0.15-0.5 mm de diámetro, en soros amorfos. Las teliosporas son unicelulares, se disponen irregularmente en 2-7 capas, de forma variable, angular globoso, oblongas a elipsoidales de 15-26 × 6-13 micras, con pared de 1-1.5 micras de espesor, ligeramente engrosada en el ápice (3 micras), con variantes incoloras y de color marrón amarillento (Hernández, 2004).

### 2.1.4 Ciclo de vida.

La germinación de esporas ocurre con 12 a 14 horas de rocío (Mínimo de 3 horas), la penetración se da aproximadamente 6 horas después a temperaturas entre 10 y 28°C, con un óptimo de 22°C (Marchetti *et al.*, 1976; Plopper y Devaní, 2002). Con temperaturas de 22 a 27°C, los urediniosoros maduran de 6 a 7 días después de la infección y con lo que son visibles los síntomas. La liberación de esporas ocurre de los 7 a los 10 días, (condición que es favorecida por el viento), una porción de este inóculo se depositará en la superficie del tejido de algún hospedero para nuevamente iniciar el ciclo. Una pústula puede producir esporas hasta por tres semanas (Terán *et al.*, 2007). Con temperaturas altas y bajos porcentajes de humedad, la enfermedad se desarrolla lentamente (Plopper y

Devaní, 2002; Terán *et al.*, 2007), así mismo la interrupción de rocío produce bajas tasas de infección (Hartman *et al.*, 2004) (Figura 2).

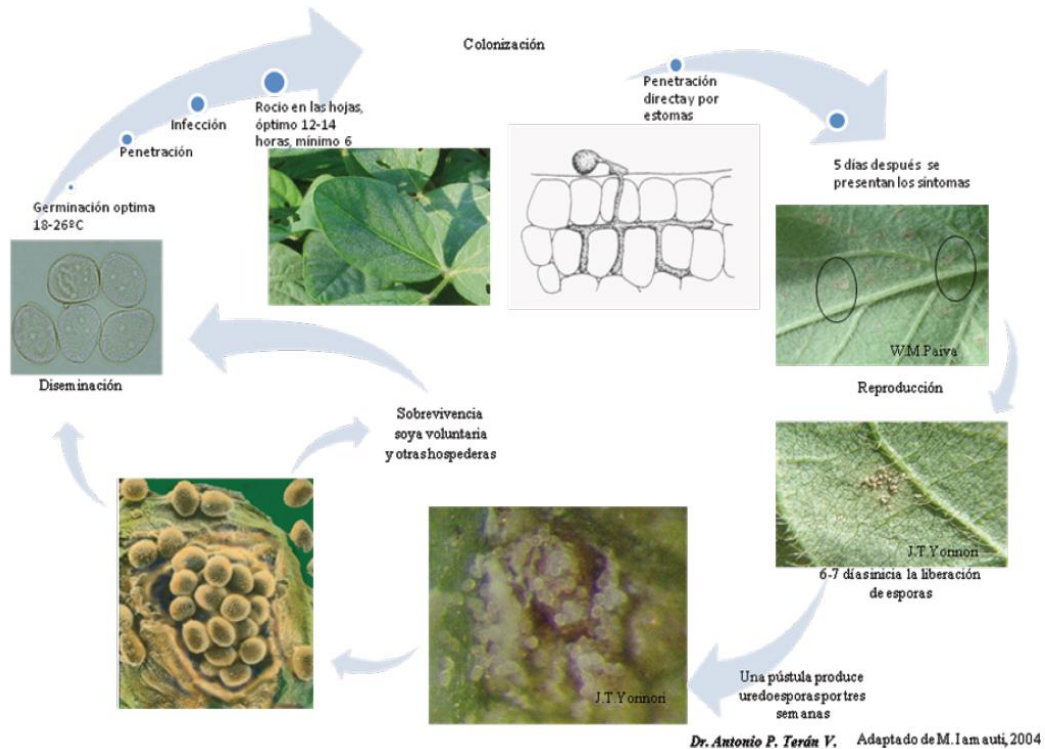


Figura 2. Ciclo de vida de la enfermedad.

### 2.1.5 Epidemiología.

*Phakopsora pachyrhizi* solo sobrevive en plantas hospederas ya sea en soja del ciclo anterior así como en sus hospedantes alternantes. Su principal medio de infección es mediante uredosporas las cuales pueden sobrevivir hasta 60 días, y son fácilmente dispersadas por el viento. Esta característica posibilita que la enfermedad pueda ser diseminada a grandes distancias (Plopper y Devaní, 2002). Durante la dispersión, deposición y germinación la temperatura y humedad del ambiente son determinantes para que la enfermedad se presente.

*P. pachyrhizi* es un patógeno policíclico ya puede tener varios ciclos en el mismo cultivo. Si a esto se le suma el hecho de que cada pústula produce hasta

420 esporas por día (Yeh *et al.*, 1982), y que el patógeno penetra en forma directa la epidermis del hospedante (Plopper y Devaní, 2002) resulta evidente que la enfermedad puede llegar a desarrollarse rápidamente en condiciones ambientales favorables. La coincidencia de estos eventos determina el grado de incidencia y severidad de la enfermedad y la velocidad de su desarrollo.

Las esporas de *P. pachyrhizi* pueden viajar largas distancias principalmente a través del viento. Nubes de esporas son liberadas si las plantas infectadas son movidas por el viento o por personas caminando a través de áreas infectadas por roya. Las personas que están muestreando la roya pueden transportar esporas desde un área hacia otra. El patógeno puede sobrevivir en hospedantes silvestres alternos. En climas tropicales y subtropicales la enfermedad puede presentarse durante todo el año y por medio de fenómenos meteorológicos dispersarse (APHIS, 2002).

#### **2.1.6 Muestreo en campo y su control.**

Los recorridos se deben iniciarse antes de la floración o al presentarse las condiciones de temperatura y humedad propicias para el desarrollo de la enfermedad, por lo que se debe realizar un muestreo en un patrón X o W (cada 50 a 100 metros), examinando las hojas en el tercio superior de la planta buscando un manchado amarillento y pústulas en el envés de las hojas, así mismo es importante detectar las áreas del cultivo con color amarillento o café y las zonas con mayor densidad de plantas, aun si no se encuentran dentro del trazo del recorrido de muestreo ya que estas áreas tendrán mejores condiciones para que suceda una epidemia (Terán *et al.*, 2007). La mejor alternativa para el control de esta enfermedad, es una detección temprana, complementada con la aplicación oportuna de fungicidas (Balardín, 2004).

Como control cultural se sugiere sembrar en surcos de 76 a 80 cm de separación y a densidades de 19 (Huasteca 100, 300 y 400) y 15 (Huasteca 200) plantas por metro lineal, se deben evitar densidades de más de 250 mil plantas/ha

(Terán *et al.*, 2007). Es recomendable la identificación y destrucción de plantas hospederas así como de nacencia de la soya después de la trilla del ciclo.

El control químico es el método más utilizado para el manejo de esta enfermedad, recomendándose la aplicación de fungicidas al follaje cuando se detecten los primeros síntomas (Gálvez *et al.*, 2006). El momento de la aplicación de los fungicidas dependerá de que se presenten las condiciones climáticas favorables para la enfermedad, la presencia y severidad de la misma, la edad de las plantas y principalmente por la eficiencia del fungicida seleccionado. Por otra parte, la eficiencia de control dependerá del momento de la aplicación, la sistematicidad y eficiencia del fungicida, el equipo de aplicación, tipo de aplicación (terrestre o aérea), boquillas utilizadas, volumen de agua, tamaño de las gotas y las condiciones climatológicas al momento de la aplicación (Yorinori *et al.*, 2004).

#### **2.1.8 Avances en el modelaje de roya de la soya.**

El análisis de riesgo de plagas es un procedimiento científico basado en la probabilidad de entrada, establecimiento y dispersión y el impacto del organismo considerado plaga. (Pivonia *et al.*, 2005; Pivonia & Yang, 2006; Gutiérrez & Ponti, 2011). Para ello el modelaje de plagas ha sido utilizado, planteando modelos desde una simple ecuación de regresión a muy complejos algoritmos como redes neuronales y modelos mecanicistas de dinámica de población del patógeno. De acuerdo a Del ponte *et al.*, (2006) Los modelos pueden ser clasificados en dos grandes grupos:

Modelos de simulación: este tipo de modelos están basados en conceptos derivados del patosistema, y reproducen procesos biológicos del ciclo de vida del patógeno como, la dispersión, deposición, germinación y colonización del hospedero. Con este tipo de modelos se puede estimar el potencial de entrada y establecimiento del patógeno a una región así como el grado de severidad y de daño al hospedante. (Yang *et al.*, 1991; Pivonia & Yang, 2006;, Pivonia *et al.*, 2006; Pan *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2005; Isard *et al.*, 2005).

Los modelos empíricos Son comúnmente contruidos utilizando relaciones estadísticas (regresión lineal o no lineal) de variables explicatorias como la temperatura, lluvia, humedad. Técnicas como la regresión lineal y no lineal, así como las redes neuronales y funciones fuzzy logic. (Reis et al., 2004; Batchelor et al., 1997; Kim et al., 2005; Del Ponte et al., 2006b; Magarey et al., 2005).

Para que un modelo epidemiológico sea desarrollado exitosamente, requiere ser alimentado con información del patógeno y el hospedero, a través de los diferentes factores epidemiológicos involucrados en el proceso de infección, como son: la eficiencia de la infección, el período de latencia, la producción de esporas, períodos infecciosos, entre otros. Se han desarrollado diferentes experimentos controlados para determinar los componentes epidémicos, y de esa forma presentar predicciones válidas en el progreso de la epidemia (Pivonia y Yang, 2006).

En Estados Unidos, se han desarrollado diferentes modelos para predecir la dispersión de la roya asiática de la soya. Los modelos desarrollados por la Universidad Estatal de Pennsylvania (IAMS: Integrated Aerobiology Modeling System), por los laboratorios de recursos aéreos de la NOAA (modelo de transporte atmosférico HYPPLIT), y por las Universidades de Iowa y St. Louis (a través de modelos climatológicos), permiten conocer en tiempo los sitios posibles de deposición de esporas, y predecir su diseminación a corto plazo (Isard y Russo, 2007).

Evaluaciones del riesgo a la enfermedad utilizando modelos se han llevado a cabo. En este sentido podemos citar los trabajos realizados por Pivonia y Yang (2004) que evalúa la probabilidad de sobrevivencia año con año de *P. Pachirhizi* en todo el mundo. Ellos encontraron que en regiones donde no se ha reportado la enfermedad pudieran ser sitios aptos para la hibernación del patógeno, estas áreas están situadas en el hemisferio oeste, incluyendo Sudamérica, Centroamérica, el Caribe, México, Sur de Texas y la Florida. Condiciones secas

pueden limitar la sobrevivencia en regiones tales como norte y centro de México y en partes del sudeste de África.

En un estudio más reciente Pivonia y Yang (2005) concluyeron que el potencia de hibernación era principalmente en el este de las regiones costeras del golfo de México, estos datos que afirman que México pudiera ser un reservorio de inóculo de *P. Pachyrrhizi* durante el ciclo otoño-invierno lo que pone en riesgo la producción de soya en Estados Unidos en el ciclo primavera-verano, situación que preocupa a los Americanos.

## **2.2 Dinámica de sistemas y modelos de simulación.**

El análisis de sistemas y simulación ha sido utilizado por ingenieros de diferentes especialidades por muchos años, y su éxito en su aplicación ha inspirado a biólogos, epidemiólogos y agrónomos, a aplicar similares técnicas en sus disciplinas. La caracterización de los términos, sistemas, modelos y simulación es necesaria para introducirnos en lo que llamamos modelación dinámica. Un sistema es una parte delimitada de la realidad que contiene elementos que se interrelacionan, mientras un modelo es una representación simplificada del sistema. Modelación o simulación dinámica, puede ser definida como el arte de construir modelos matemáticos y el estudio de sus propiedades con referencia al sistema que representa. Así pues la dinámica de sistemas es una disciplina que se aplica al estudio del comportamiento de los sistemas a través del tiempo. Los sistemas pueden ser clasificados con base a distintos aspectos, entre ellos: el número de relaciones que existen entre los elementos, así como su estructura y complejidad (Ferrari, 1978).

### **2.2.1 Diagrama causal o de influencia.**

Una manera de representar la estructura y el comportamiento del sistema es por medio de diagramas causales, o de influencia, y los diagramas de flujo, o de Forrester.

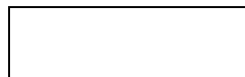


Los diagramas causales o de influencia, son aquellos que reúnen los elementos que constituyen la estructura, la cual viene dada por la especificación de las variables del sistema y las relaciona por medio de flechas; con las que se identifican las retroalimentaciones principales, sin distinguir la naturaleza de las variables interconectadas. Estas flechas van acompañadas de un signo, que puede ser positivo (un cambio en la variable de origen de la flecha, producirá un cambio del mismo sentido en la variable destino) o negativo (el efecto producido se manifiesta en sentido contrario) (Aracil, 1977; Quijano, 2001).

### 2.2.2 Diagrama de flujo o de Forrester

Los diagramas de flujo, o de Forrester, representan procesos de acumulación o disminución de materia y energía, y corresponden a ecuaciones de integración numérica dada por el conocimiento previo del sistema, obtenido de su información histórica, y/o de la opinión del experto del sistema a analizar. Para ello clasifican las variables en tres grupos: de nivel, flujo y auxiliar (Martín, 2000; Aracil, 1977).

Las variables de nivel o estado son aquellas que representan magnitudes que acumulan los resultados de acciones, tomadas en un punto determinado del tiempo. Esta variable se representa por medio de un rectángulo (Aracil, 1977).



Las variables de flujo, o tasas, son las responsables de la velocidad a la cual se llenan o vacían los niveles. Esta variable define el cambio en los procesos que ocurren dentro del sistema. Sus dimensiones son cantidades por unidad de tiempo (Aracil, 1977; Ferrari, 1978).



Las variables auxiliares son etapas en las que se descompone el cálculo de una variable de flujo, a partir de los valores tomados por los niveles. Se representan por medio de círculos (Aracil, 1977).

### **2.2.3 Tipos de modelos.**

Existen dos grupos de modelos: los dinámicos, aquellos en donde el tiempo es un elemento activo, es decir que el sistema sufre cambios conforme avanza el tiempo; y los estáticos, en donde el tiempo no se involucra entre las variables que se relacionan. Frecuentemente, estos modelos estáticos son componentes de los dinámicos (Rabbinge *et al.*, 1989).

En los modelos dinámicos existe una distinción importante, la cual tiene características particulares, que se dividen en **modelos descriptivos**: se muestra solamente la existencia de relaciones entre los elementos, pero no las explica; y los **modelos explicativos** donde los elementos que conforman al modelo son bien entendidos, a tal grado que si existe diferencia entre el sistema y el modelo, puede sufrir un ajuste al afinar las variables, y reubicar los elementos para obtener mejor concordancia (Rabbinge *et al.*, 1989).

### **2.3 Etapas para la construcción de modelos de simulación dinámica**

De acuerdo a Rabbinge *et al.* (1989), la construcción de modelos de simulación dinámica comprende tres etapas: conceptual, comprensiva y de corrección o resumen.

**Etapas conceptuales.** Identificación del problema. Se requiere de una aportación inicial de conocimientos del tema por parte del experto, así como de documentación básica, En esta etapa deben conocerse los elementos del sistema, y las relaciones hipotéticas que existen entre ellos y el comportamiento histórico de interés. Se formulan los objetivos, definición de los límites del sistema., diseño del diagrama causal, diseño del diagrama de Flujo.

### **Etapa comprensiva.**

Se define por tres etapas:

- Cuantificación de las relaciones entre variables basadas en información obtenida en la literatura, o aquellas relaciones obtenidas mediante experimentación.
- Definición del algoritmo computacional, es decir la construcción del modelo.
- Verificación del comportamiento del modelo, es decir si se ajusta a los rangos esperados.

### **Etapa de resumen.**

Es donde se establecen las prioridades a investigar, y se desarrollan las herramientas de manejo, dentro de las cuales se contempla:

- Validación del modelo mediante experimentos individuales.
- Análisis de sensibilidad numérica o estructural.
- Formulación de reglas de decisión, para el uso y manejo del modelo.

## **2.4 Software para la construcción de modelos dinámicos**

Existen distintos programas disponibles para la construcción de modelos dinámicos. A continuación se mencionan aspectos generales de algunos de ellos.

El Dynamo (DYNAmic MOdels), es un programa de computación, desarrollado en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) por Alexander Pugh en 1962.

STELLA/ITHINK: Basado en los principios de Dynamo; el cual es flexible, sencillo y elegante. Este programa permite establecer una relación entre las ecuaciones escritas en forma de texto y los diagramas causales, empleando la simbología Forrester.

POWERSIM Este programa simula el comportamiento de sistemas afectados por variables introducidas por el usuario. De ésta manera se puede simular, por ejemplo, el comportamiento y operación de una empresa bajo la acción de variables, tanto económicas como de su operación, la producción, tasas de interés, inflación, capacidad instalada, costos fijos y variables.

Vensim es un software para la construcción de modelos, según las técnicas de la dinámica de sistemas. Funciona bajo Windows, Linux y también en ordenador Macintosh. Es una herramienta visual de modelaje que permite conceptualizar, documentar, simular, analizar y optimizar modelos de dinámica de sistemas. Provee una forma simple y flexible de construir modelos de simulación, sean lazos causales o diagramas de stock y de flujo. Mediante la conexión de palabras con flechas, las relaciones entre las variables del sistema son ingresadas y registradas como conexiones causales. Esta información es usada por el Editor de Ecuaciones para ayudarlo a completar su modelo de simulación. Podrá analizar su modelo siguiendo el proceso de construcción, mirando las causas y el uso de las variables y también siguiendo los lazos relacionados con una variable. Cuando construye un modelo que puede ser simulado, Vensim le permite explorar el comportamiento del modelo.

### III. METODOLOGIA

El trabajo de investigación se realizó parcialmente en el departamento de modelos de simulación del INIFAP Cebaj, y en la Universidad Autónoma de Querétaro, la plataforma utilizada para la construcción del modelo fue Vensim® 4.2 de Ventana Simulation Environment. Para las pruebas de germinación se colectó inóculo en el campo experimental Campo Experimental Las Huastecas en el Mante Tamaulipas, las pruebas de germinación se realizaron en el laboratorio de modelaje de organismos dañinos en el Campo Experimental Bajío.

El trabajo se realizó en cuatro etapas: a) Evaluación de la germinación de esporas de roya asiática. b) Adaptación del modelo de crecimiento del hospedante, c) Construcción del modelo de epidemiología de *P. Pachyrhizi*, d) Análisis del riesgo climático de la enfermedad en México.

#### **3.1 Evaluación de las condiciones de temperatura y humedad que se requieren para la germinación de uredosporas de *P. pachyrhizi*.**

Para la evaluación de la germinación se probaron las temperaturas de 5, 10, 13, 15, 20, 25 28 y 30 °C utilizando inóculo procedente de parcelas infectadas bajo ambiente controlado de acuerdo a la metodología utilizada por Yáñez (2012) en un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones.

##### **3.1.1 Procedencia y Mantenimiento del Inóculo.**

El inóculo se obtuvo del Mante Tamaulipas de plantas de soya con síntomas. Como criterio para la selección de la muestra, la soya debería presentar síntomas de manera abundante, además la parcela para la toma de la muestra sólo era elegible si solo se observaban síntomas de roya de la soya.

Con plantas de varios sitios se formó una muestra compuesta, las cuales se depositaban en bolsas de papel. Las muestras se mantuvieron en refrigeración a

una temperatura de 11 a 6 °C. Para evitar la mezcla con algún otro tipo de patógeno, toda muestra que presentara signos de contaminación con algún hongo diferente fue desechada. Bajo este procedimiento las muestras mantienen inóculo viable hasta por 30 días.

### **3.1.2 Cámara Bioclimática Utilizada.**

Se utilizó una cámara bioclimática marca CARON modelo 6010 la cual controla temperatura, humedad relativa y fotoperiodo (Figura 3). Tiene un control de temperatura de 5-70°C con una variación de 0.1°C y de humedad relativa de 20-98% con una variación del 3%.

La cámara bioclimática se programó 12 horas antes de iniciar una prueba, para corroborar que cada tratamiento en evaluación se mantuviera a temperatura y humedad constantes. Para corroborar la temperatura y humedad fuera la correcta dentro de la cámara, se introdujo un sensor automático marca Spectrum modelo 450, la lectura de las variables, se registró cada 10 min. Este sensor cuenta con una pantalla LCD en la cual se da una lectura de temperatura y humedad cada cinco segundos, en base a la cual se ajustó la desviación de la cámara asegurando el control para cada tratamiento.

La cámara cuenta con un sistema automático de recirculación del agua destilada, con un depósito de 40 litros, asegurándose con ello que el contenido de humedad deseado se mantuviera en los rangos especificados.



Figura 3. Cámara bioclimática utilizada en el experimento.

### 3.1.3 Preparación de uredosporas *In Vitro*.

Las uredosporas colectadas, fueron utilizados para inducirles su germinación *in vitro*. Con ayuda de un pincel y de manera aséptica, las uredosporas fueron tomadas y depositadas sobre un porta objetos que contenía una gota de agua destilada (Figura 4), esto para asegurar que el inóculo se hidratara e iniciar con ello el proceso de germinación. Antes de la incubación se revisaron en el microscopio cada una de las muestras para asegurar que contuvieran un número suficiente de uredosporas, y no tener restos contaminantes. Una vez listo el porta objetos, se colocaron en una caja petri con un trozo de papel húmedo en el fondo, la caja era tapada y se llevaba a la cámara bioclimática donde permanecía por 24 horas. De esta manera se prepararon uredosporas para cada uno de los tratamientos, utilizando cuatro repeticiones para cada uno.



Figura 4. Colocación de uredosporas en el portaobjetos.

### **3.1.4 Evaluación de la Germinación.**

Concluido el período de incubación de 24 horas, se procedió a realizar el conteo para evaluar la germinación de los uredosporas. Para la evaluación se seleccionaron al azar 100 esporas, a las que se les cuantificó como germinada o no germinada en cada tratamiento y repetición (Figura 5). Se consideró germinado sólo aquellas uredosporas que presentaron un tubo germinativo primario de un largo de al menos igual a la mitad del diámetro de la espora (Campbell, 2003; Celio y Hausbeck, 1998; Denner, 1986).



Figura 5. Conteo de uredosporas germinadas.

### **3.1.5 Manejo de la información y análisis estadísticos para la prueba de germinación de uredosporas.**

Se estudió el efecto de la interacción de la temperatura y la humedad sobre la germinación de los uredosporas, calculando los efectos principales de cada uno de los factores y su interacción. Se identificó el rango de temperatura y humedad en cual se obtuvo el mayor número esporas germinadas.

Debido a que los datos obtenidos durante las mediciones de la germinación de los uredosporas quedaron expresados como porcentajes o proporciones, lo cual corresponde a una distribución binomial, por lo que se realizó una



transformación angular o coseno =  $\arccos\left(\sqrt{\frac{\text{porcentaje}}{100}}\right)$  ó =  $\text{seno}^{-1}\sqrt{\left(\frac{\text{porcentaje}}{100}\right)}$   
por ser ésta recomendada por Little y Hills (1979).

Con los efectos que estén activos o que influyen de manera significativa en la respuesta se procede a determinar las mejores condiciones para la germinación. Se realizó una prueba gráfica de interacciones para los efectos por temperatura y humedad e identificar las diferencias detectadas. Además de una prueba de coeficiente de regresión para construir un modelo de superficie de respuesta de la germinación (Gutiérrez y de la Vara, 2004).

De manera gráfica se seleccionó la mejor interacción de temperatura y humedad para determinar el rango óptimo de germinación de uredosporas. Los análisis estadísticos y manejo de la información se llevaron a cabo en el software Statgraphics plus para Windows en su versión 5.1.

### **3.2 Modelo dinámico de crecimiento de la biomasa del hospedante.**

Para representar el crecimiento del cultivo se utilizó el modelo desarrollado por Quijano *et al.*, (1991), el cual simula el crecimiento del cultivo de frijol. Este modelo considera los siguientes procesos: el desarrollo del cultivo en función de la acumulación de calor; el potencial de producción y distribución de biomasa a partir de la energía disponible; y la disponibilidad de agua en el suelo y su efecto sobre la tasa de crecimiento como resultado del balance de humedad en el sistema Suelo-Planta-Atmósfera. Este modelo se acopló al de la roya de la soya y se ejecutan simultáneamente en cada simulación.

Debido que el cultivo de soya, jícama y frijol son hospedantes de *P. pachyrhizi*, se realizaron ajustes a los módulos de Edad Fisiológica y Materia Seca para poder representar el crecimiento de los tres cultivos. Los cambios en la estructura del modelo fueron:

**Edad fisiológica:** Este módulo (Figura 6) representa el desarrollo del cultivo hospedante en función de unidades calor el cual utiliza el método residual para su cálculo con una temperatura base de 10°C. En el Cuadro 3 se muestra a detalle los requerimientos térmicos para los cultivos de soya variedad Huasteca, jícama variedad San Juan y frijol Flor de Junio Marcela.

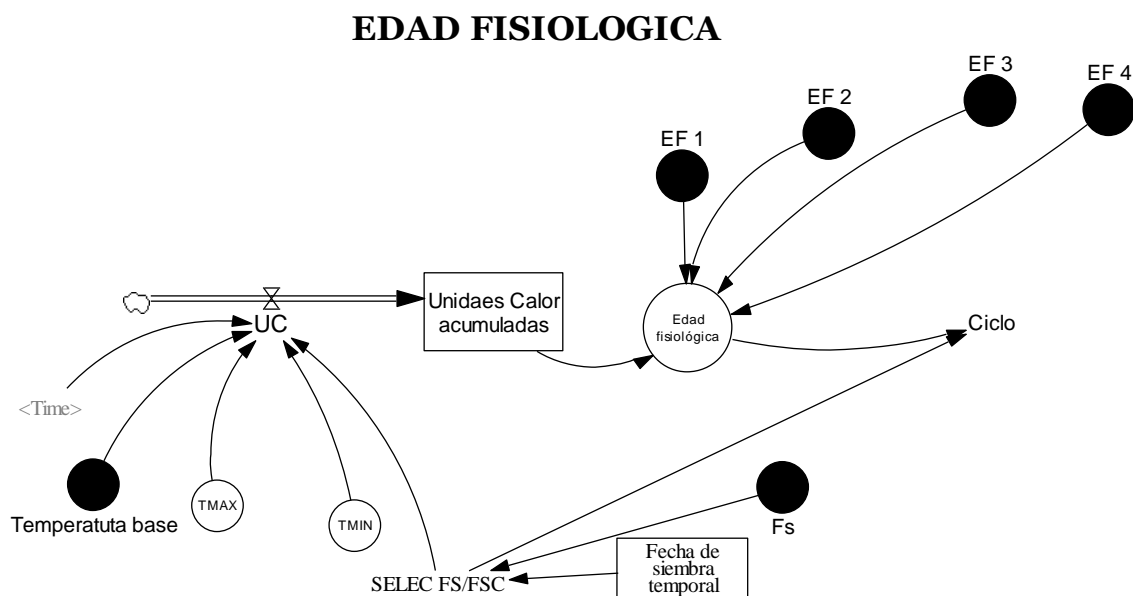


Figura 6. Módulo de Edad fisiológica del hospedante.

Cuadro 3. Requerimientos térmicos utilizados para determinar la duración del ciclo y desarrollo fenológico de los cultivos de soya, jícama y frijol (Temperatura base 10).

Edad fisiológica	Soya	Jícama	Frijol
EF1 (Plántula)	496	370	270
EF2 (Iniciación floral)	773	883	450
EF3 (Llenado de grano o formación de tubérculo)	1074	1182	700
EF4 (madures fisiológica)	1400	2000	850

**Materia seca:** En este módulo (Figura 7) se realiza la estimación de radiación fotosintéticamente activa, que en función de la eficiencia de la radiación del cultivo se utiliza para estimar la fotosíntesis, esta es repartida en los órganos de raíz, tallo, hojas y grano dando por resultado la materia seca de cada órgano en crecimiento. En el Cuadro 4 se presentan las particiones en las cuales se reparte la tasa de fotosíntesis de cada órgano de los hospedantes.

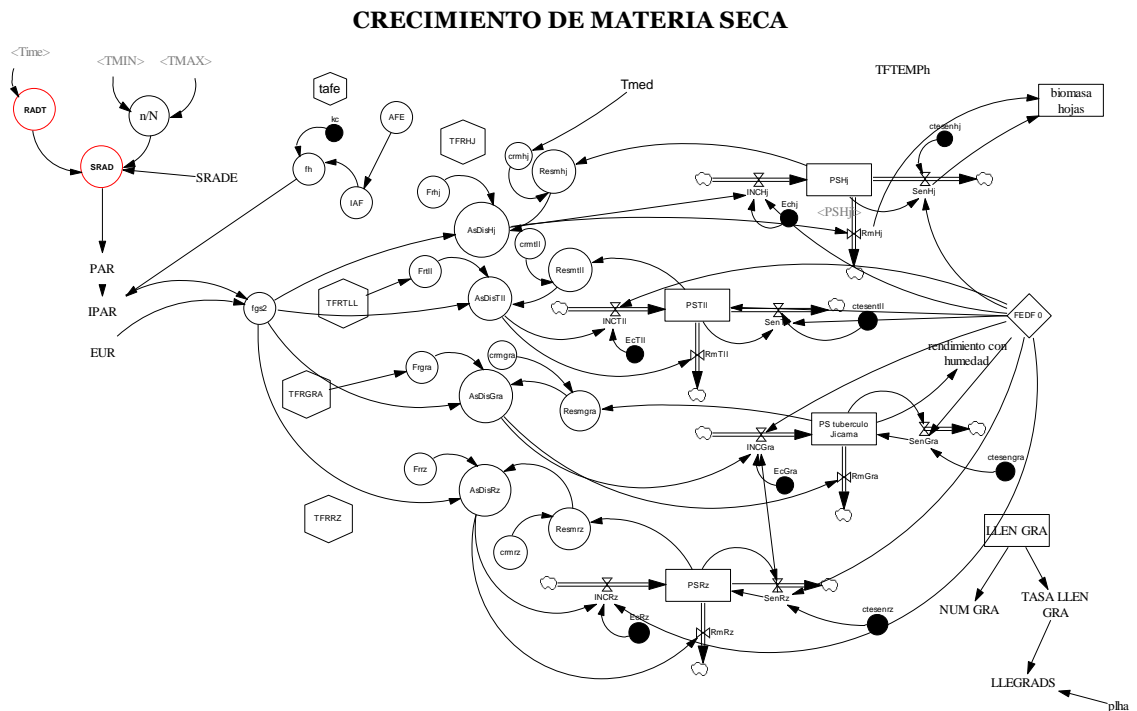


Figura 7. Módulo de acumulación de materia seca.

Cuadro 4. Fracción de crecimiento de órgano por edad fisiológica de los tres cultivos hospederos.

Edad Fisiológica	Soya				Jícama*				Frijol			
	Hojas	Tallo	Grano	Raíz	Hojas	Tallo	Tubérculo	Raíz	Hojas	Tallo	Grano	Raíz
EF1	0.44	0.30	0.00	0.26	0.50	0.40	0.00	0.10	0.44	0.30	0.00	0.26
EF2	0.40	0.10	0.40	0.10	0.50	0.42	0.00	0.08	0.40	0.10	0.40	0.10
EF3	0.20	0.00	0.80	0.00	0.32	0.31	0.30	0.07	0.20	0.00	0.80	0.00
EF4	0.00	0.00	1.00	0.00	0.19	0.19	0.63	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00

\* Ajustado utilizando los reportes publicados por Castellanos 2009

### **3.3 Construcción del modelo de infección de *P. pachyrhizi*.**

#### **3.3.1 Construcción del modelo conceptual.**

Para elaborar el diagrama causal, fue necesario establecer cuáles eran los factores relevantes que afectan el desarrollo de la epidemia de roya de la soya. Los factores se clasificaron de la siguiente manera:

**Factores Físicos:** Temperatura, que es uno de los principales factores que afectan todas las etapas de vida del hongo. La tasa de mortalidad de esporas, lesiones, duración del periodo de Latencia, periodo de infección son afectados por variables climáticas como temperatura, rocío, y humedad relativa.

**Factores Biológicos.** Los relacionados con el agente causal de la enfermedad como, tamaño de lesión, producción de esporas, en general conocimiento del ciclo completo del hongo, su relación con el clima y el cultivo. El desarrollo de la enfermedad presenta un crecimiento exponencial logístico, y el establecimiento de la enfermedad se origina por inóculo transportado de otras zonas. Se asume que sólo el 1% de las esporas producidas llegan a generar una lesión.

**Factores del Cultivo.** Etapa fonológica susceptible, parte de la planta que afecta así como la disponibilidad de tejido para infección durante el ciclo. El aumento en biomasa del cultivo afectara los sitios vacantes para infección. Por conveniencia los sitios infectados se dividirán en tres que son sitios latentes, sitios infecciosos, y sitios no infecciosos. Cuanta más superficie se enferme menos será la probabilidad de que una espora puede ser depositada en tejido sano.

En el modelo conceptual la infección (Figura 8) está determinada por las esporas iniciales, la disponibilidad de superficie foliar sana y el clima durante el ciclo del cultivo. El clima afectará el periodo de vida de la espora, lo cual determinara la mortalidad de estas y por ende la sobrevivencia de las mismas.

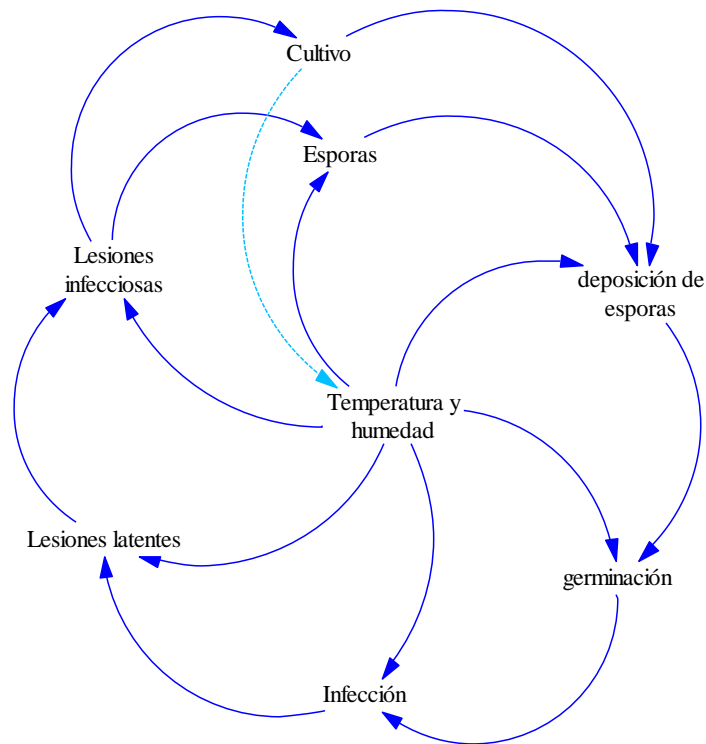


Figura 8. Diagrama causal donde se delimitan los elementos más importantes en la epidemia causada por *Phakopsora pachyrhizi*.

### 3.3.2 Construcción del modelo dinámico.

El modelo está diseñado para simular el desarrollo diario de la roya de la soya en el estadio uredial en cultivo susceptible. El modelo propuesto consta de 5 niveles o variables de estado y 9 tasas las cuales son la estructura principal del modelo (Figura 9).

#### Niveles o variables de estado:

- **Esporas depositadas**

Las esporas depositadas dependerán de la tasa de esporas depositadas, la mortalidad de las esporas depositadas y la tasa de germinación de esporas depositadas, sus unidades son esporas/ha.

*Ecuación:*

*Esporas Depositadas= INTEG (tasa esporas depositadas-mortalidad esporas depositadas-tasa de germinación,0)*

- **Esporas germinadas**

Las esporas germinadas son esporangios viables que en condiciones favorables desarrollaron el tubo germinativo sus unidades son esporas/ha. Y estará calculada de la siguiente manera:

*Ecuación:*

*Esporas Germinadas= INTEG (tasa de germinación-mortalidad esporas germinadas-proliferación de esporas,0)*

- **Infecciones Latentes.**

Son los sitios donde una espora se depositó, germinó y donde potencialmente se desarrollen síntomas de la enfermedad, la infección ya se ha dado. Sus unidades son esporas/ha.

*Ecuación:*

*Esporas Germinadas= INTEG (tasa de germinación-mortalidad esporas germinadas-proliferación de esporas,0).*

- **Lesiones infecciosas.**

Son los sitios que presentan síntomas, y de los cuales pueden seguirse desarrollando esporas potencialmente infecciosas. Las cuáles serán liberadas y continuaran infectando el área foliar. Sus unidades son esporas/ha.

*Ecuación:*

*Lesiones Infecciosas= INTEG (Tasa nuevas a lesiones-envejecimiento lesiones-Mortalidad lesiones infecciosas, 0)*

- **Lesiones no infecciosas.**

Son las lesiones que dejaron de ser infecciosas y que aunque se presenten como síntomas ya no tienen la posibilidad de producir más esporas potencialmente infectivas. Sus unidades son esporas/ha.

*Ecuación:*

*Lesiones No Infecciosas= INTEG (envejecimiento lesiones-Tasa mortalidad lesiones no infecciosas, 0)*

- **Área de la hoja enferma.**

Con todos los sitios ocupados por los tres tipos de lesión. Unidades Lesiones/ ha.

Ecuación:

*Sitios totales ocupados=Infección Latente+Lesiones Infecciosas+Lesiones No Infecciosas*

**Variables de Tasa:**

**Tasa de deposición de esporas.**

Es número de esporas por día que pueden ser interceptadas por el cultivo y está determinado por las esporas producidas fuera del cultivo, más la tasa de producción de nuevas esporas debido a las lesiones infecciosas en el cultivo. Es importante mencionar que la fracción de las esporas interceptadas es 10 % de las esporas producidas por lesión. En unidades de esporas/(día\*ha).

Ecuación:

*Tasa esporas depositadas= (Esporas Efectivas\*Lesiones Infecciosas\*Fracción de esporas interceptadas \*Iaf\*(1-fracción tejido enfermo)+Esporas)*

- **Tasa de mortalidad de esporas depositadas.**

Diversos factores interviene en la mortalidad de esporas de entre los más importantes tenemos temperatura y humedad por lo que asumimos que temperaturas menores a de 12 °C tendremos mortalidades del orden del 50% hasta mortalidades del 100% a 0°C. y 1% en unidades de esporas/(día\*ha)

Ecuación:

*Tasa esporas depositadas=(Esporas Efectivas\*Lesiones Infecciosas\*Fracción de esporas interceptadas\*Iaf\*(1-fracción tejido enfermo)+Esporas).*

- **Tasa de germinación.** Estará determinada por el periodo de germinación determinado por la temperatura una vez que la humedad necesaria se alcance. En unidades de esporas/(día\*ha).

*Ecuación:*

$$Tasa\ de\ germinación = \frac{Esporas\ Depositadas * (1 - MortRelEspDep)}{PERIODO\ GERMINACION}$$

#### **Mortalidad esporas germinadas.**

Será determinado por una fracción de mortalidad constante del 1%. En unidades de esporas/(día\*ha).

*Ecuación:*

$$Mortalidad\ esporas\ germinadas = \frac{Esporas\ Germinadas * FRACCCION\ MORTALIDAD\ ESPORAS\ GERMINADAS}{FRACCCION\ MORTALIDAD\ ESPORAS\ GERMINADAS}$$

- **Tasa infección.** Estará determinado por fracción de esporas germinadas después de haber aplicado la tasa de mortalidad sobre el tiempo que toma para infectar. En unidades de esporas/(día\*ha).

*Ecuación:*

$$Tasa\ infección = \frac{Esporas\ Germinadas * (1 - fracción\ tejido\ enfermo * AJUSTE)}{TIEMPO\ PARA\ COLONIZAR}$$

**Tasa lesiones infecciosas.** Es la fracción de la infección latente sobre el periodo de latencia el cual está en función de la temperatura. En unidades de esporas/(día\*ha).

*Ecuación:*

$$Infección\ Latente * (1 - FRACC\ MORT\ INFEC\ LAT) / PERIODO\ DE\ LATENCIA$$

**Mortalidad infección latente.** Es una función de la temperatura. El cual modifica el periodo de latencia. Por lo que a mayor periodo de latencia mayor mortalidad.

*Ecuación:*

$$Mortalidad\ infección\ latente = \frac{Infección\ Latente * FRACC\ MORT\ INFEC\ LAT}{PERIODO\ DE\ LATENCIA}$$



- **Envejecimiento lesiones.** Es la fracción de lesiones que ha cumplido su periodo de producción de inóculo o periodo infecciosos. En unidades de esporas/(día\*ha).

*Ecuación:*

$$\text{Envejecimiento lesiones} = \text{Lesiones Infecciosas} / \text{PERIODO INFECCIOSO}$$

**Mortalidad lesiones infecciosas.** Es la fracción de las lesiones infecciosas en función de la senescencia de las hojas. En unidades de esporas/(día\*ha).

*Ecuación:*

$$\text{Mortalidad lesiones infecciosas} = \text{Lesiones Infecciosas} * (\text{Tasa Senescencia de hojas} / \text{PERIODO INFECCIOSO})$$

- **Tasa mortalidad lesiones no infecciosas.** Es la fracción de las lesiones infecciosas en función de la senescencia de las hojas. En unidades de esporas/(día\*ha).

*Ecuación:*

$$\text{Tasa mortalidad lesiones no infecciosas} = \text{Lesiones No Infecciosas} * \text{Tasa Senescencia de hojas}$$

Cálculo de biomasa y sitios potenciales de infección.

Para el cálculo del número de sitios infecciosos máximos se introdujo una función simple para el cálculo de biomasa en función del tiempo el cual da inicio a la fecha de siembra.

El cual nos permite calcular el índice de área foliar el cual al ser dividido entre la superficie de una lesión nos arroja el número de sitios máximos infecciosos. El modelo matemático se presenta en la Figura 9.

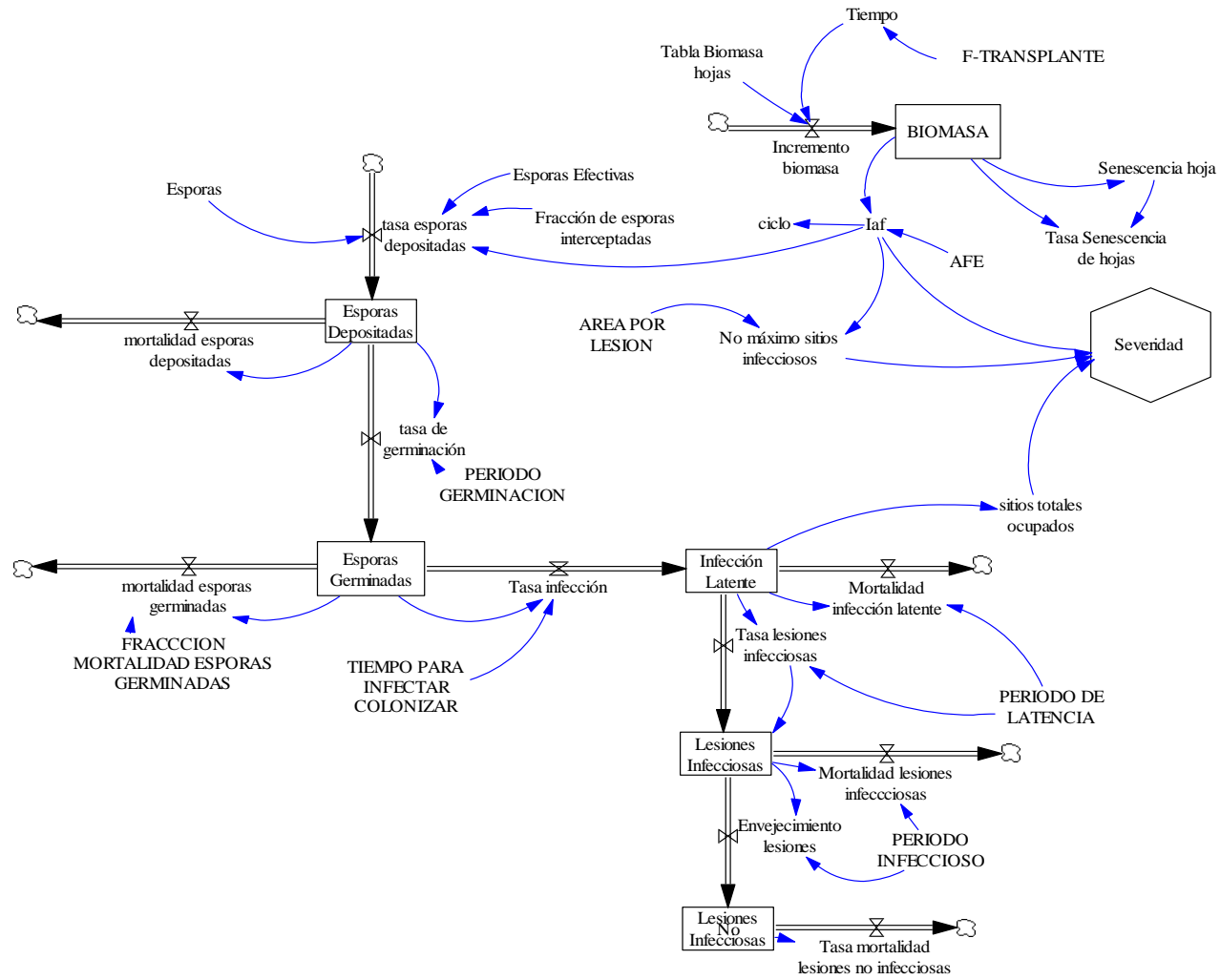


Figura 9. Modelo dinámico construido en Vensim®, de la epidemia de roya de la soya.

Para probar el ajuste del modelo se utilizaron datos de evaluaciones de roya asiática del año 2013 en el cultivo de jícama, los datos corresponden a la campaña de vigilancia epidemiológica fitosanitaria operada por el Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Guanajuato A.C. los datos corresponden a las detecciones positivas a roya asiática, en los municipios de Romita, Silao, Celaya y Comonfort (Figura 10). En el caso de los datos meteorológicos se obtuvieron de la red de estaciones automáticas de la Fundación Guanajuato produce.

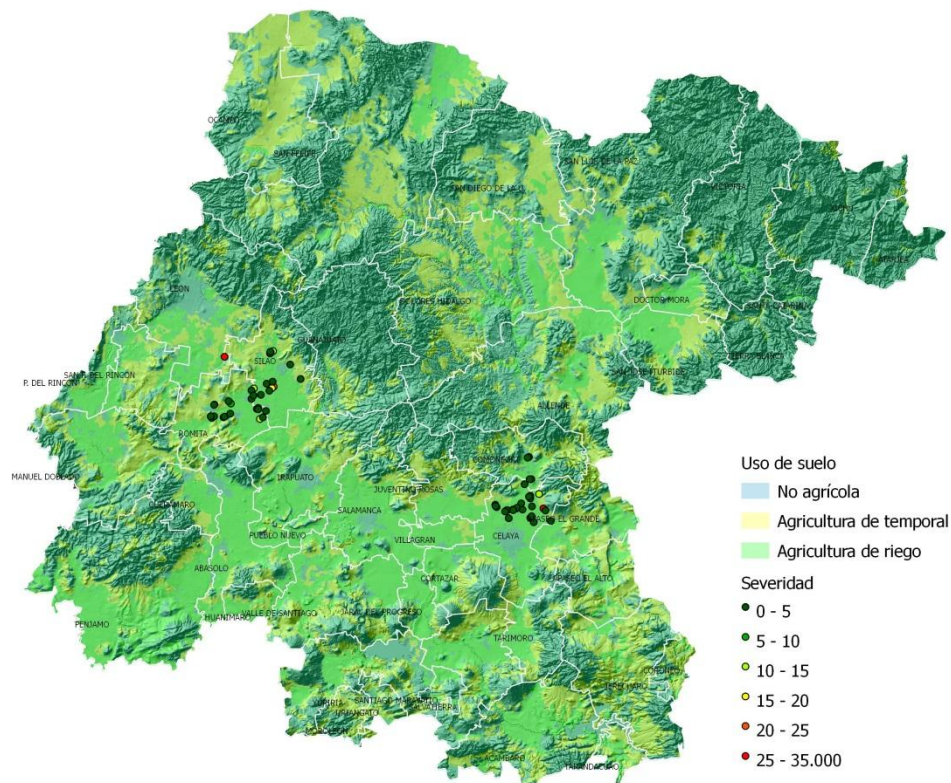


Figura 10. Detecciones de roya asiática de la soya por el Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Guanajuato A.C. durante el 2013.

### 3.4 Análisis del riesgo de infección de roya de la soya (*P. pachyrhizi*) bajo diferentes escenarios de clima en México.

Para identificar los municipios donde se ha reportado ASR, se integró los reportes con detecciones positivas de roya de la soya en México. La disponibilidad de hospedero se constituyó a partir de datos estadísticos de la superficie sembrada

de los hospedantes susceptibles en dos ciclos de cultivo. Posteriormente, el análisis del clima de posibles zonas de distribución para roya de la soya se realizó utilizando el software SIMPEC desarrollado por Quijano et al. (2011), esta interfaz integra una base de datos climáticos diarios de México y una plataforma para construir y calibrar los modelo de cultivos, plagas y enfermedades. Con el propósito de identificar las zonas favorables para la enfermedad asumimos que el inóculo no era un factor limitante. La estimación de lo días favorables para la infección se realizó mediante el análisis de los datos meteorológicos diarios de temperatura, precipitación y humedad relativa (HR). El mapa final de riesgo se obtuvo fusionando el mapa de condiciones de clima favorable y el mapa de densidad de hospedero.

#### **3.4.1 Detecciones positivas de roya asiática de la soya en México.**

Para identificar los municipios donde se ha reportado roya asiática de la soya se consultaron varias fuentes, como: La Plataforma de información sobre plagas para la Extensión y la Educación (IPM-Pipe), este es un sitio de mapas web que proporciona la información cronológica de las observaciones de roya de la soya, recomendaciones de manejo, y la información de exploración (IPM PIPE, 2012) el Sistema Coordinado de operaciones para el manejo de plagas reglamentadas y su epidemiología (SCOPE), que proporciona información sobre la detección de plagas en México, incluyendo la roya asiática de la soya (SCOPE, 2012), y el Sistema Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad de los Alimentos (SENASICA), que constituye la autoridad de salud de plantas en México y es responsable de los informes oficiales sobre el estado de la roya asiática de la soya en México (SENASICA, 2012). Esta información se utilizó para construir el mapa de los casos confirmados de la enfermedad. La información de detección se obtuvo a nivel municipio y se mapearon utilizando capas de información de división municipal de INEGI utilizando el software ARC-GIS 10.1.

### **3.4.2 Mapa de la disponibilidad del hospedero.**

La disponibilidad del hospedero se incorporó utilizando estadísticas de superficie sembrada en los dos ciclos agrícolas: primavera-verano y otoño-invierno. Para esto, se recopilaron los datos de superficie por municipio de los cultivos de soya (*Glycine max*), jícama (*Pachyrhizus erosus*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y haba (*Vicia faba*) del año 2010, reportados por el Sistema de Información Agraria y Pesquera de México (SIAP, 2012) (publicados en su página web: [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx)). Al mapa de hospederos se le superpuso el de uso del suelo para visualizar sólo las áreas agrícolas de los municipios.

### **3.4.3 Análisis de clima de la distribución potencial de la enfermedad.**

Los datos meteorológicos para el análisis se obtuvieron del Servicio Meteorológico Nacional de México (SMN-CONAGUA). Serie de al menos 10 años de 2791 estaciones meteorológicas se integraron en la base de datos de SIMPEC, después de un proceso de control de calidad. Datos diarios de Temperatura mínima, máxima, y precipitación se utilizaron para ejecutar el modelo. La HR se calculó utilizando la evaporación potencial (ETP) como lo sugiere Ortiz (1993). Para el cálculo de la evaporación potencial se requirió de una aproximación de la temperatura durante el día y el coeficiente de reflexión del suelo y la planta de la radiación solar. La aproximación de la temperatura durante el día se obtuvo utilizando la media ponderada de las temperaturas máximas y mínimas diarias aire. El albedo combinado del cultivo y el suelo se calcula a partir del índice de área foliar de hoja y el valor del albedo del suelo calculado a partir del modelo propuesto por Ritchie (1998).

Para calcular el número de días con condiciones climáticas favorables para la infección de uredosporas, se utilizaron los datos diarios de humedad relativa, temperatura y precipitación. Se analizaron dos ciclos de cultivo, primavera-verano (de abril a octubre), y otoño-invierno (noviembre a marzo).

El efecto de la temperatura sobre la infección ASR se asume que sigue una curva de respuesta clásica para los sistemas biológicos con tres temperaturas cardinales: óptimo, máximo y mínimo. De acuerdo a la Figura 11, el índice de riesgo toma un valor de cero cuando la temperatura es inferior a 10 ° C y por encima de 28 °C, además puede alcanzar el valor máximo cuando la temperatura está cerca de 22 ° C. Esto siempre cuando la humedad relativa se encuentra por arriba del 90% o que se presente una lluvia mayor de 1 mm. Los valores del índice de infección en las mejores condiciones y temperaturas cardinales para el hongo se determinaron con base a la literatura. Debido a que la probabilidad de infección en el campo suele ser más alta durante la noche o temprano en la mañana ya que la humedad relativa es superior así como el rocío, el índice de infección para cada día se determinó usando la temperatura mínima.

Cuando el análisis se lleva a cabo, el modelo devuelve un valor entre cero y uno. A continuación, estos valores se resumen a lo largo del tiempo. Días acumulados con condiciones favorables en cada temporada se divide por el número total de días del período para generar el índice de idoneidad para la roya de la soya. La curva de probabilidad de excedencia se calculó para cada estación y el valor de los índices correspondientes al 80 % de probabilidad se utilizaron para elaborar los mapas utilizando Arcmap. Se utilizó el método de interpolación de Kriging Ordinario con un modelo semivariograma esférico para calcular los datos de distribución espacial. De este modo los mapas de riesgos por clima representan la frecuencia de condiciones favorables para la infección por *P. pachyrhizi* en el área de estudio.

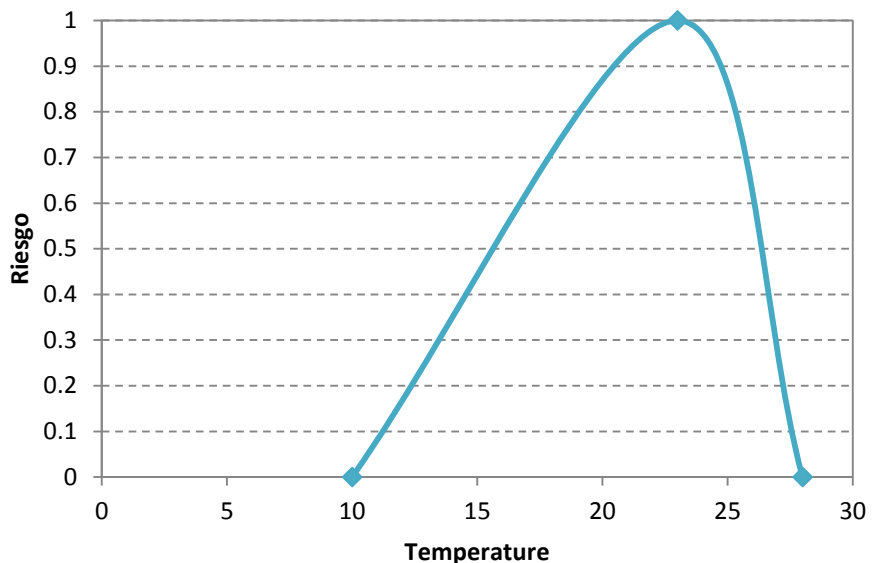


Figura 11. Curva que para determinar el riesgo a la enfermedad.

#### 3.4.4 Mapa de riesgo final a partir del mapa de hospederos y de riesgo climático.

El mapa final se generó con la sobreposición de mapas de riesgo climático, y superficie con hospedero susceptible. Los municipios que no reportan área sembrada con hospedero fueron excluidos. Además, se sobre puso la capa de uso de suelo y vegetación de México (disponible para descarga en el sitio web del Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México, INEGI) para representar la distribución de hospederos sólo en el área agrícola, esta capa se utiliza como un filtro para visualizar el índice de riesgo en las áreas agrícolas.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 Evaluación de las condiciones de temperatura y humedad que se requieren para la germinación de uredosporas de *P. pachyrhizi*.

Las uredosporas de *P. pachyrhizi* germinaron en una rango de temperatura de 10 a 28 °C. El mayor porcentaje de germinación con los datos obtenidos se estima esta en los 23 °C. Por debajo de los 10 ° C la germinación no se presentó, del mismo modo arriba de los 28°C la germinación no se hace presente (Figura 12). Diferentes condiciones para la germinación de las uredosporas fueron probadas, pero sólo germinaron en condiciones de humedad del 100%, y en presencia de agua libre por 24 horas, esto se obtuvo generando una cámara húmeda en una caja petri.

Comparando los resultados obtenidos con lo realizado con Marchetti (1975) y Bonde (2007) podemos observar que la respuesta a la germinación es similar en los distintos trabajos. En este sentido nuestros resultados indican que el mínimo de germinación se encuentra a los 10°C resultando en un 1% de germinación, lo que coincide con lo citado con ambos autores, con porcentajes de germinación de 14% reportado por Marchetti y 1% con Bonde. Respecto a la temperatura umbral máxima los resultados indican que se encontró a los 28°C, coincidiendo con el valor máximo de temperatura para la germinación reportado por Marchetti y por debajo de lo reportado por Bonde quien estableció un máximo de 30°C. Respecto a los porcentajes de germinación en la temperatura umbral máxima el presente trabajo encontró 1 % de germinación, mientras Marchetti reporta 3 %, sin embargo, Bonde a esta temperatura reporta 40% de germinación, la cual cae abruptamente a los 32°C con cero % de germinación a esta temperatura. En referente a la temperatura óptima los resultados indican que nuestro trabajo reporta el óptimo de germinación a los 23°C, mientras Marchetti lo reporta a los 21°C, y Bonde a los 23°C.



Como se puede observar en la Figura 12 donde se compara el trabajo realizado con lo reportado en trabajos anteriores encontramos que existen fuertes diferencias en los porcentajes de germinación, la mayor diferencia está en lo realizado Bonde en el 2007 con diferencias en germinación de hasta el doble en algunos valores de temperatura. Si bien los umbrales de temperatura para la germinación, así como el óptimo coinciden en mayor o menor medida, esta diferencia en los porcentajes de germinación se debe a la técnica utilizada. El presente trabajo se realizó en porta objetos y utilizando agua destilada solamente, mientras que en los trabajos realizados por Marchetti y Bonde la prueba se realizó en medio de cultivo agua agar, esta condición resulta ser un mejor medio para estimular la germinación de las uredosporas, pero es importante aclarar que no son las condiciones que se presentan de manera natural durante el proceso de infección, debido a esto nuestro trabajo se representa de mejor manera la condición real de lo que sucede en un evento de este tipo.

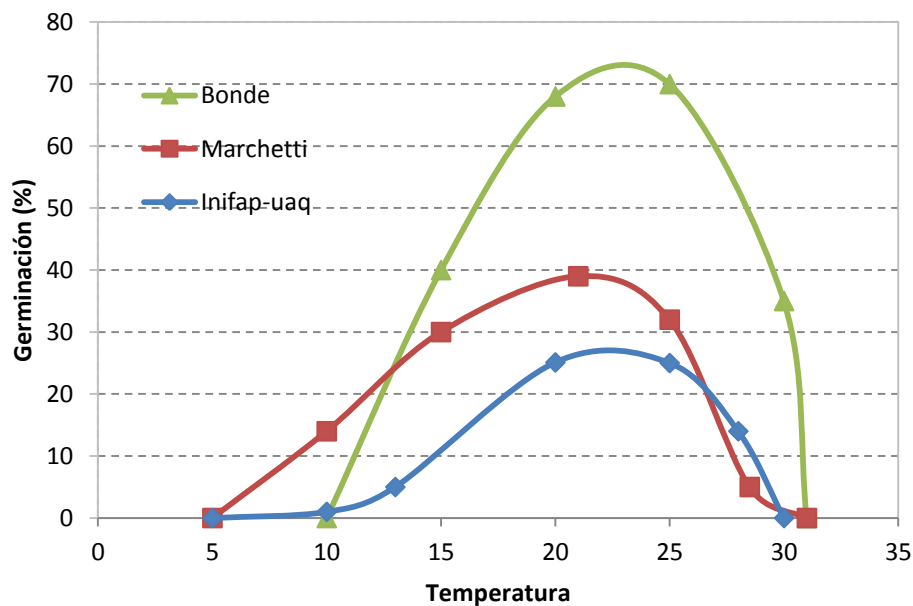


Figura 12. Comparación de germinación de uredosporas de *P. pachyrhizi* en los estudios realizados por Marchetti (1975), Bonde (2007) y los realizados en este estudio.

## 4.2 Modelo dinámico de crecimiento de la biomasa del hospedante.

Para verificar el comportamiento del modelo se realizaron múltiples simulaciones, utilizando datos de entrada de distintas localidades, así como distintas fechas de siembra, las variables de respuesta que se revisaron fueron las kilogramos de materia seca de hoja, índice de área foliar, rendimiento de grano, edad fisiológica y ciclo del cultivo, resultados de algunas simulaciones son presentadas en las Figuras 13, 14, 15,16 y 17.

De acuerdo a los resultados de las simulaciones para el caso de frijol en siembras de finales del mes de abril podemos tener 80 días de ciclo de cultivo de frijol, mientras que para el caso de soya 127 días, en este sentido jícama es el cultivo de ciclo más largo alcanzando 190 días a cosecha el detalle del desarrollo fenológico podemos observarlo en la Figura 13 y la duración del ciclo en la Figura 14.

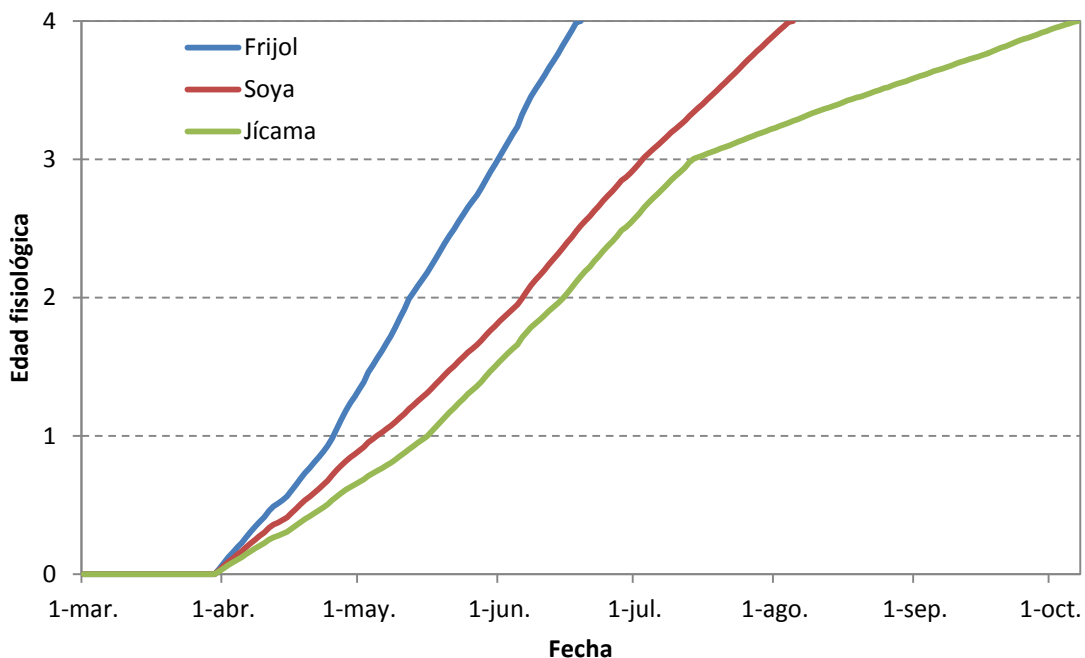


Figura 13. Desarrollo fenológico simulado de frijol, soya, jícama. En el eje de la ordenada tenemos la edad fisiológica expresada en valores numéricos, en donde: 1= EF1(Plántula), 2=EF2 (Iniciación floral); 3=EF3(Llenado de grano o formación de tubérculo); 4= EF4(madures fisiológica).

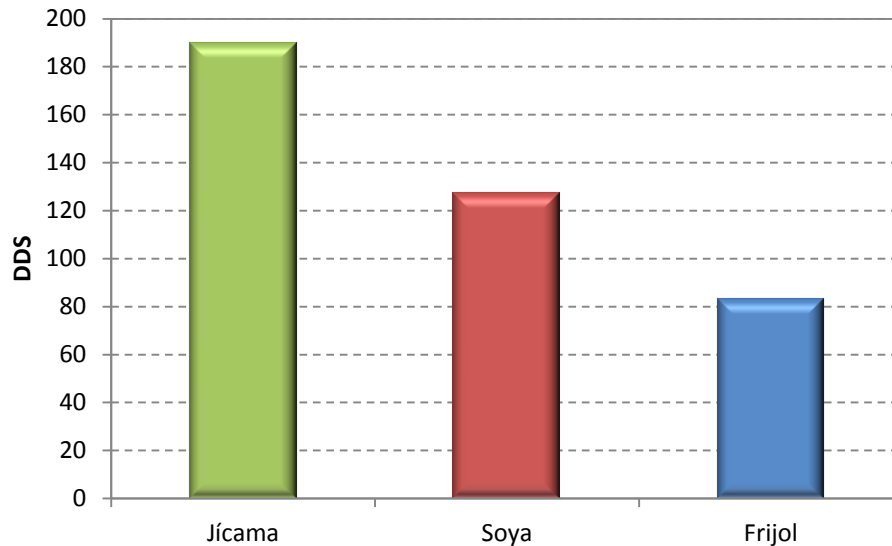


Figura 14. Duración del ciclo de los cultivos de jícama soya y frijol como resultado de las simulaciones con fecha de siembra del 31 de marzo del 2013. Para el caso de jícama de utilizo la variedad San Juan, para soya la variedad Huasteca y para frijol Flor de Junio Marcela.

En la Figura 15 podemos observar los resultados de las simulaciones del cultivo de frijol de las localidades de Escárcega y Tampaya., los datos de entrada son las variables de temperatura y precipitación que corresponden al año 2010. Es evidente que la diferencia en producción de materia seca debida a la localidad es representada por el modelo. En relación a esto, la Figura 15 observamos que la localidad de Escárcega produjo mayor cantidad de materia seca de la hoja, a diferencia de la localidad de Tampaya, lo que coincide con el incide de área foliar de la Figura 16, en la cual tenemos que Escárcega obtuvo un mayor índice de área foliar en comparación con la otra localidad. Del mismo modo en la Figura 17 podemos observar la diferencia en el rendimiento de grano, teniendo, que nuevamente Escárcega obtuvo un mayor rendimiento para ese año en esa localidad.

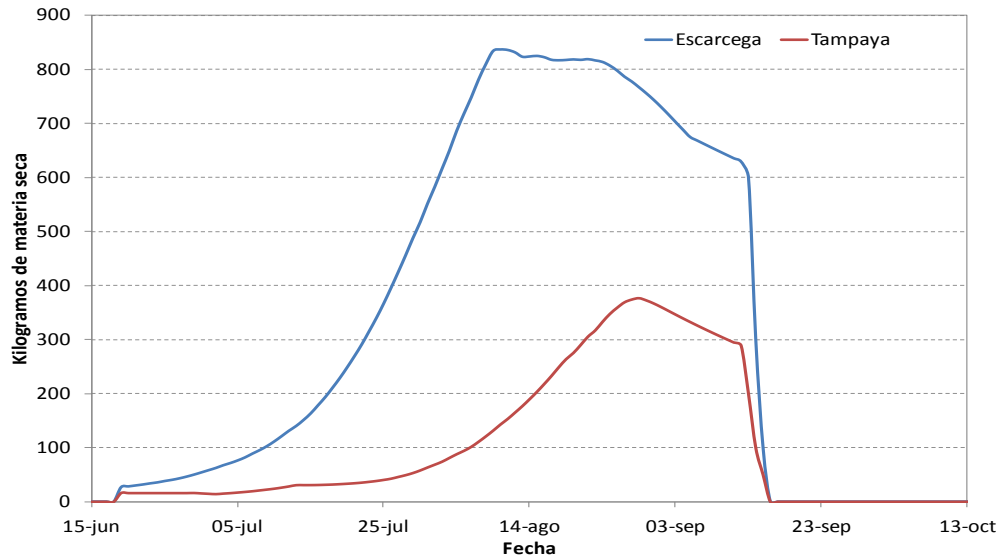


Figura 15. Crecimiento del peso seco de la hoja, como función de la producción de fotosíntesis utilizando el modelo de frijol de Inifap.

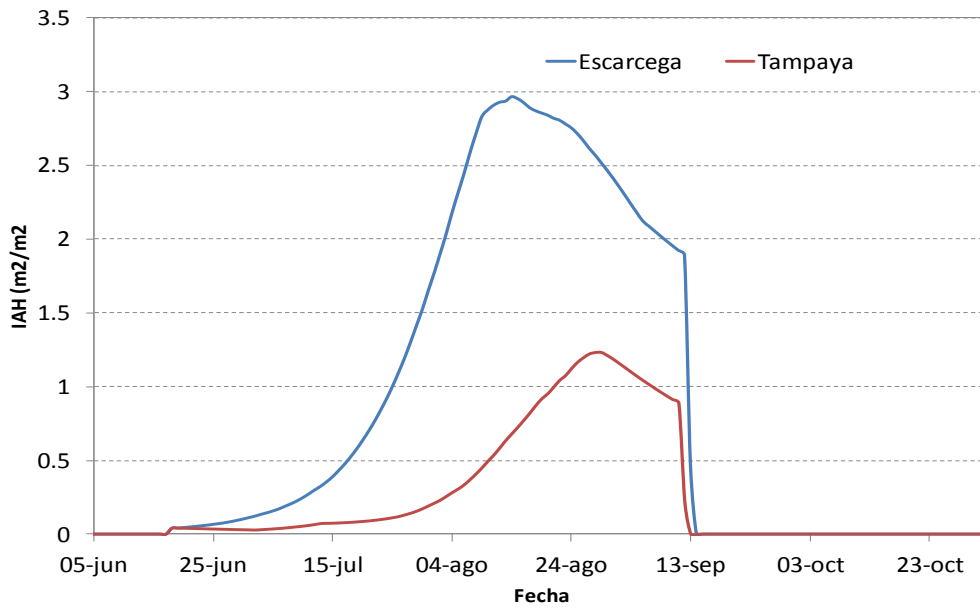


Figura 16. Estimación del área foliar de frijol expresado en metros cuadrados de hoja por metros cuadrados de suelo, el modelo permite obtener diferencias entre localidades.

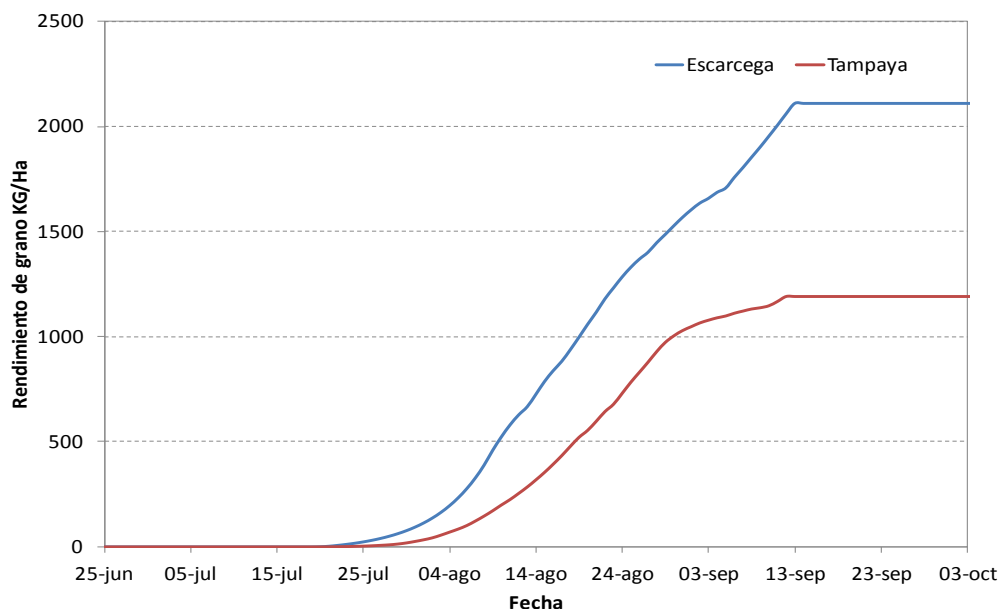


Figura 17. Rendimiento de grano de soja utilizando el modelo de simulación en función de la disponibilidad de radiación, así como la eficiencia en el uso de la radiación.

#### 4.3 Construcción del modelo de infección de *P. pachyrhizi*.

Como resultado de este apartado mostramos el comportamiento de las variables de nivel asociadas al modelo de infección. En este sentido en las figuras 18, 19, 20, 21, y 22 se muestran las esporas depositadas y las esporas germinadas de las localidades de Romita, Comonfort, Silao, Celaya y León. El comportamiento en las distintas localidades es acorde a lo observado en la realidad, ya que como se puede constatar, de las esporas depositadas solo una fracción de ellas podrá germinar. La germinación está limitada por la disponibilidad de humedad en el ambiente y la temperatura promedio en cada instante de tiempo. Para el caso de la estación de el Huaricho podemos observar que de las esporas depositadas y las esporas germinadas de manera general mantienen una relación 2:1, además se observa una reducción significativa en la última semana de octubre lo que coincide con un descenso en la temperatura causando una disminución en la eficiencia de la germinación de esporas (Figura 18a). En el caso de los distintos tipos de sitios

infecciosos los cuales son mostrados en la figura 18b, podemos observar que se desarrollaron un numero de lesiones que llevaron a alcanzar hasta 5.8 millones de sitios ocupados por el hongo, lo que equivale para este caso a una severidad del 48%.

En el caso de la localidad de Comonfort las esporas depositadas y las esporas germinadas estuvieron por debajo de la simulación de Romita, manteniendo una relación 2:1, (Figura 19a). En el caso de los distintos tipos de sitios infecciosos los cuales son mostrados en la figura 19b, podemos observar que se desarrollaron hasta 4.5 millones de sitios ocupados (lesiones) por el hongo, lo que equivale para este caso a una severidad del 35%, inferior a lo registrado en Romita.

En la simulación de la localidad de Silao las esporas depositadas y las esporas germinadas de manera general mantienen una relación 3:2. Es de hacer notar que como en el caso de Romita, se observa una reducción significativa en la última semana de octubre lo que coincide con un descenso en la temperatura causando una disminución en la eficiencia de la germinación de esporas (Figura 20a). En el caso de los distintos tipos de sitios infecciosos los cuales son mostrados en la figura 20b, se puede observar que las lesiones representan 3.5 millones de sitios ocupados (lesiones) por el hongo, lo que equivale a una severidad del 41.8%.

En la localidad de Celaya, la relación entre las esporas depositadas y las esporas germinadas, al igual que en el caso anterior es 3:2. Como en el caso de Romita, se observa una reducción significativa en la última semana de octubre (Figura 21a). En la figura 21b, podemos observar que se generaron hasta 5.5 millones de lesiones, lo cual representa una severidad del 46.7%.

En cuanto a la localidad de León, se observó también una relación 3:2 entre las esporas depositadas y las esporas germinadas. También en esta localidad se observa una reducción significativa en la última semana de octubre lo que coincide con un descenso en la temperatura causando una disminución en la eficiencia de

la germinación de esporas (Figura 22a). En cuanto al número de sitios infecciosos, la Figura 22b muestra que se alcanzaron a desarrollar hasta 6.3 millones de lesiones, correspondiendo a una severidad del 38 %.

Comparando los resultados de la severidad calculada en los distintos sitios simulados observamos que la localidad que alcanzo una mayor severidad fue Celaya con un 46%, Silao con un 42 %, León con 38%, Romita 34% y Comonfort con 26 % (Figura 23).

Se realizaron dos validaciones del modelo, una para evaluar el grado de eficiencia en la estimación de cantidad de esporas migrantes que son las que originan la epidemia y la severidad estimada en campo en una fecha de muestreo.

En la Figura 24a se muestra la comparación de los datos observados entre los datos simulados, el modelo reproduce de manera cercana las fluctuaciones en la cantidad de esporas atrapadas. En la Figura 24b se muestra el gráfico de regresión lineal construido para probar el ajuste entre los datos observados y simulados para la variable esporas migrantes. El modelo obtenido se aproxima a una línea 1:1, con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.71.

En la Figura 25 se muestra la comparación entre los datos observados y simulados para la severidad causada por la enfermedad; como puede apreciarse, el modelo reproduce de manera aceptable las fluctuaciones en severidad. El gráfico de regresión lineal construido para probar el ajuste entre los datos observados y simulados para la variable severidad muestra que la relación entre lo observado y lo simulado se aproxima a una línea 1:1, con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.67.

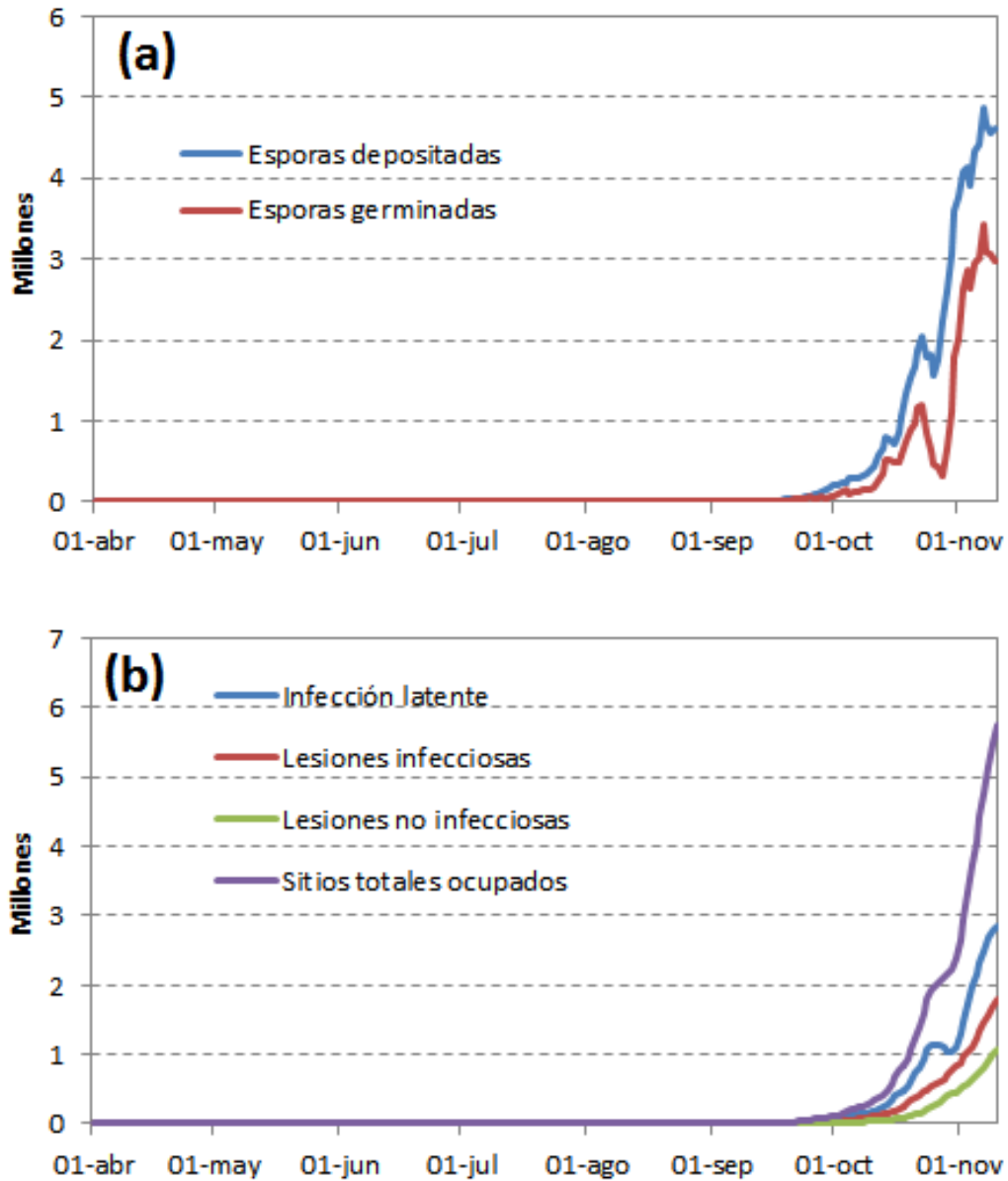


Figura 18. (a) Dinámica de deposición y germinación de esporas y (b) Distintos tipos de lesiones causadas por *P. pachyrhizi*, simuladas, con la estación El Huaricho de Romita, Guanajuato año 2013.



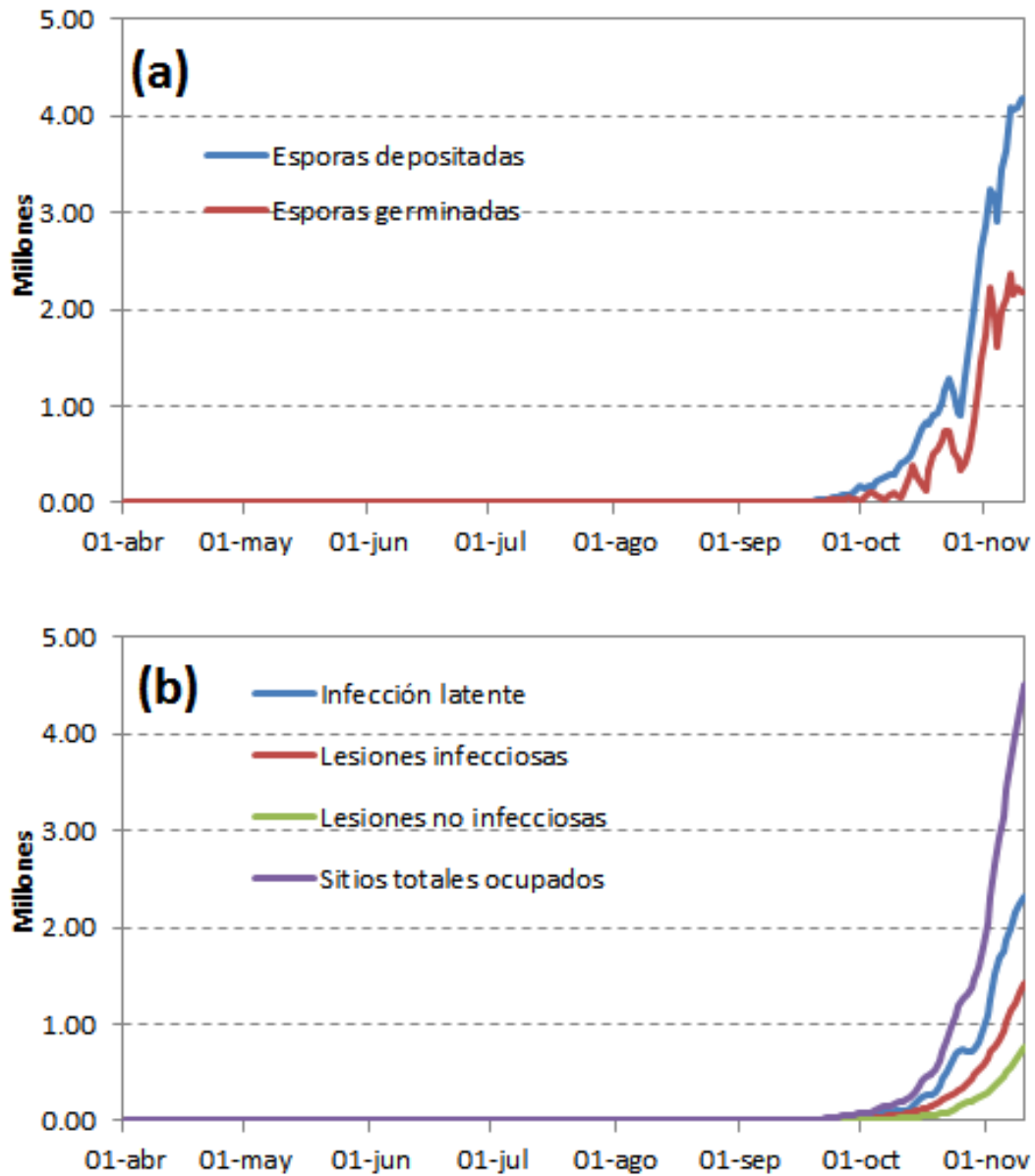


Figura 19. (a) Dinámica de deposición y germinación de esporas y (b) Distintos tipos de lesiones causadas por *P. pachyrhizi*, simuladas, con la estación Purísima de Chamacuero de Comonfort, Guanajuato año 2013.

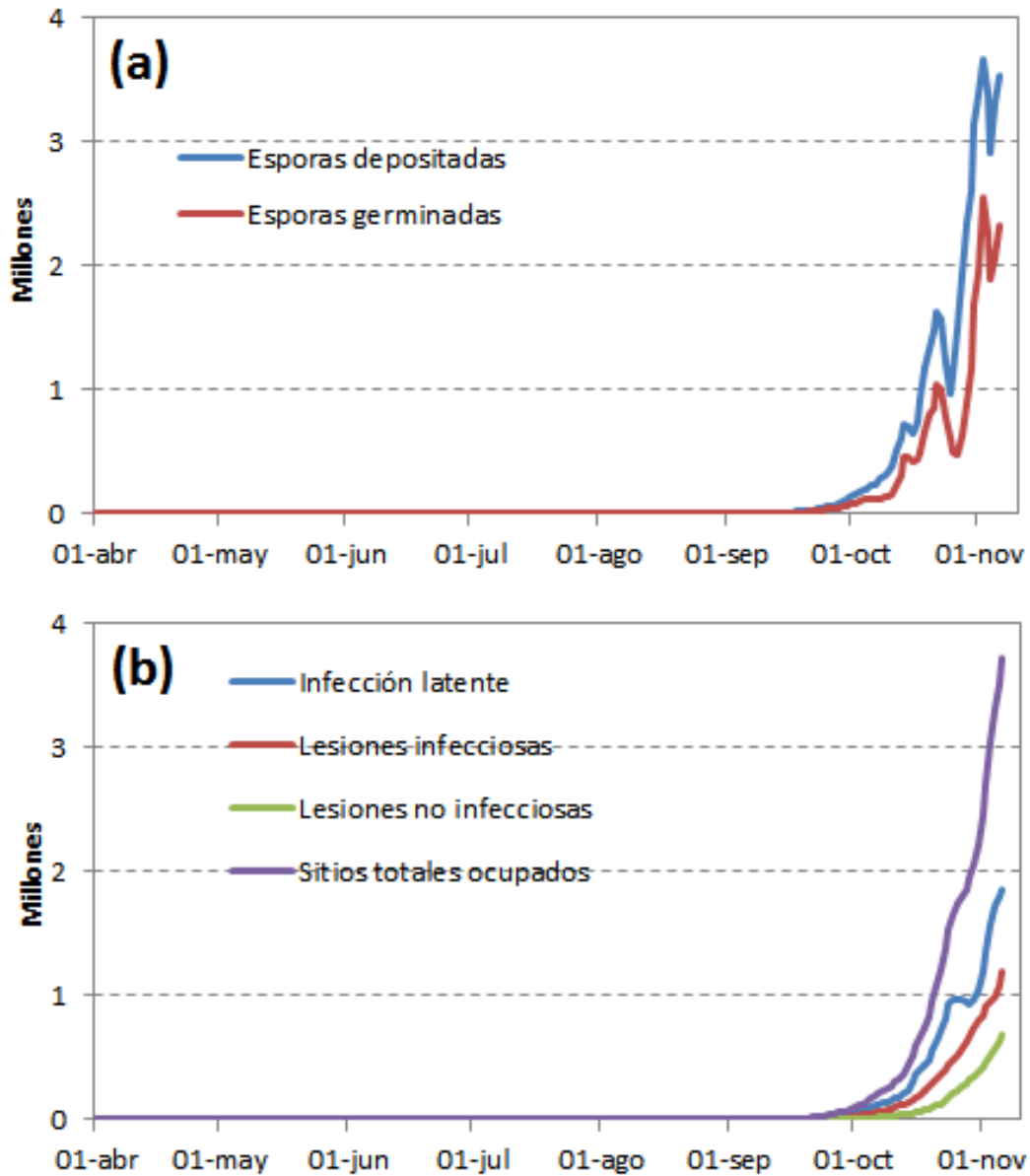


Figura 20. (a) Dinámica de deposición y germinación de esporas y (b) Distintos tipos de lesiones causadas por *P. pachyrhizi*, simuladas, con la estación La hacienda de Silao, Guanajuato año 2013.

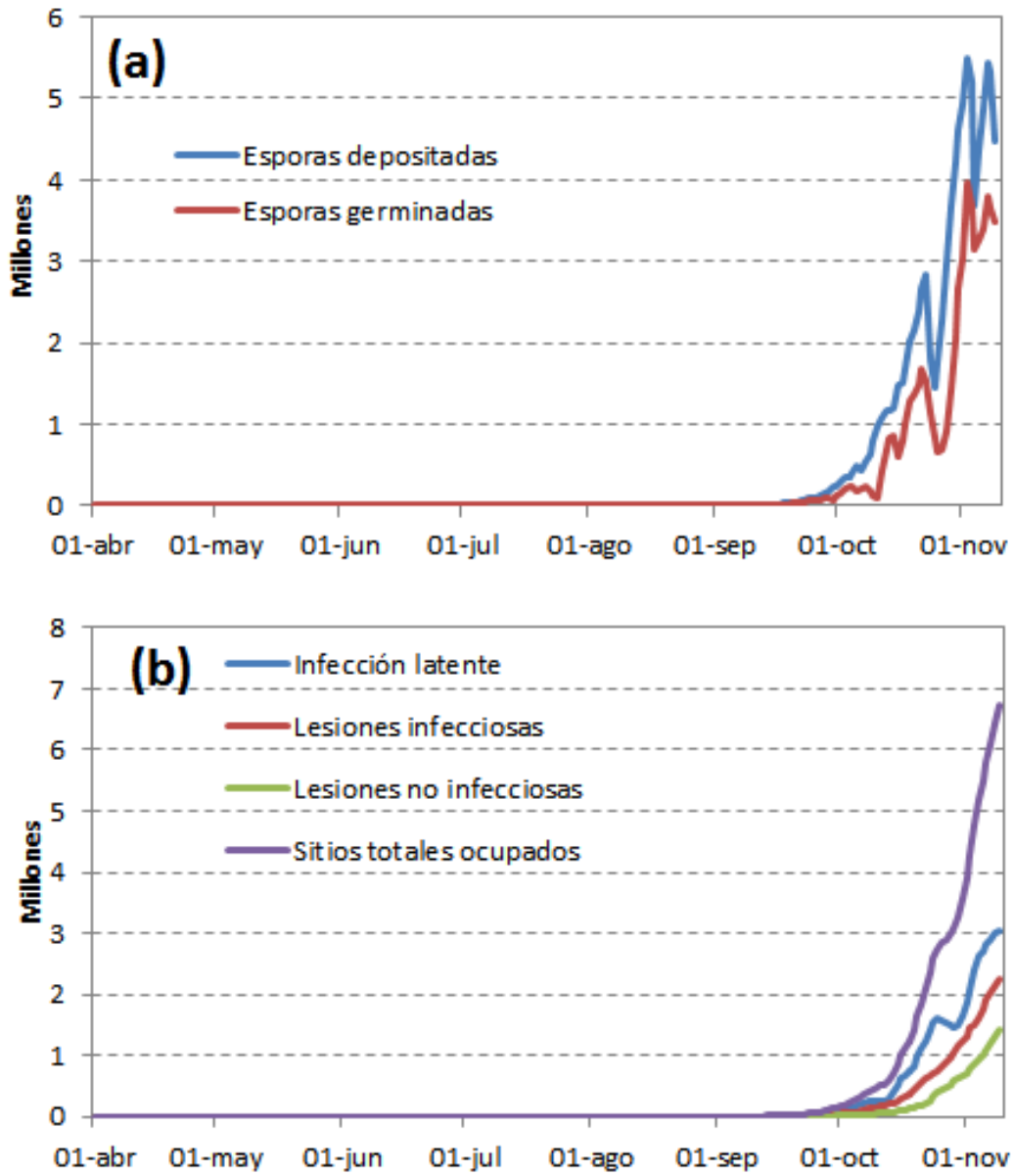


Figura 21. (a) Dinámica de deposición y germinación de esporas y (b) Distintos tipos de lesiones causadas por *P. pachyrhizi*, simuladas, con la estación El carril, Apaseo el Grande, Guanajuato año 2013.

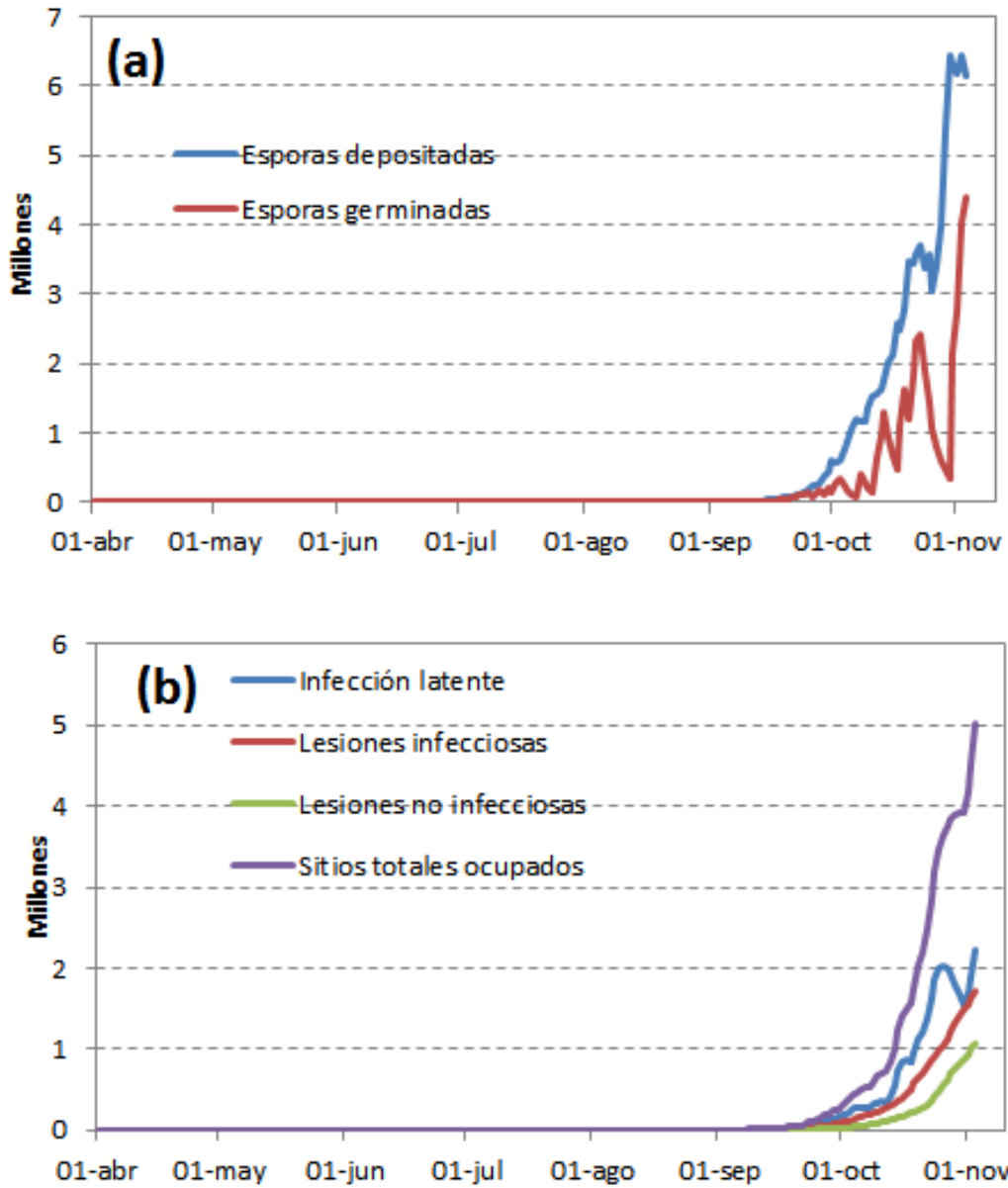


Figura 22. (a) Dinámica de deposición y germinación de esporas y (b) Distintos tipos de lesiones causadas por *P. pachyrhizi*, simuladas, con la estación Agroeduca, León, Guanajuato año 2013.

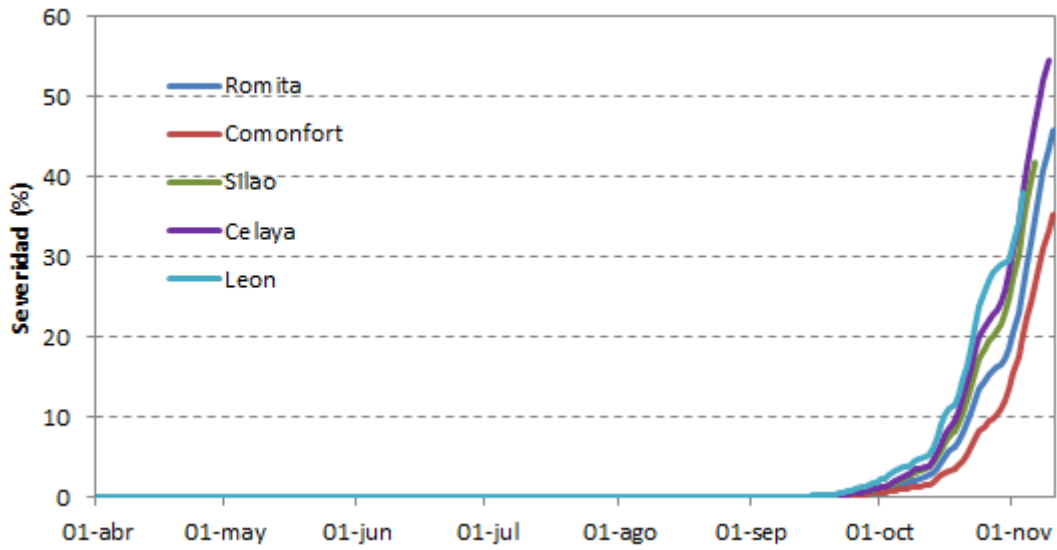


Figura 23. Evolución de la severidad en cinco localidades del estado de Guanajuato en el año 2013 utilizando el modelo de la epidemia de roya asiática.

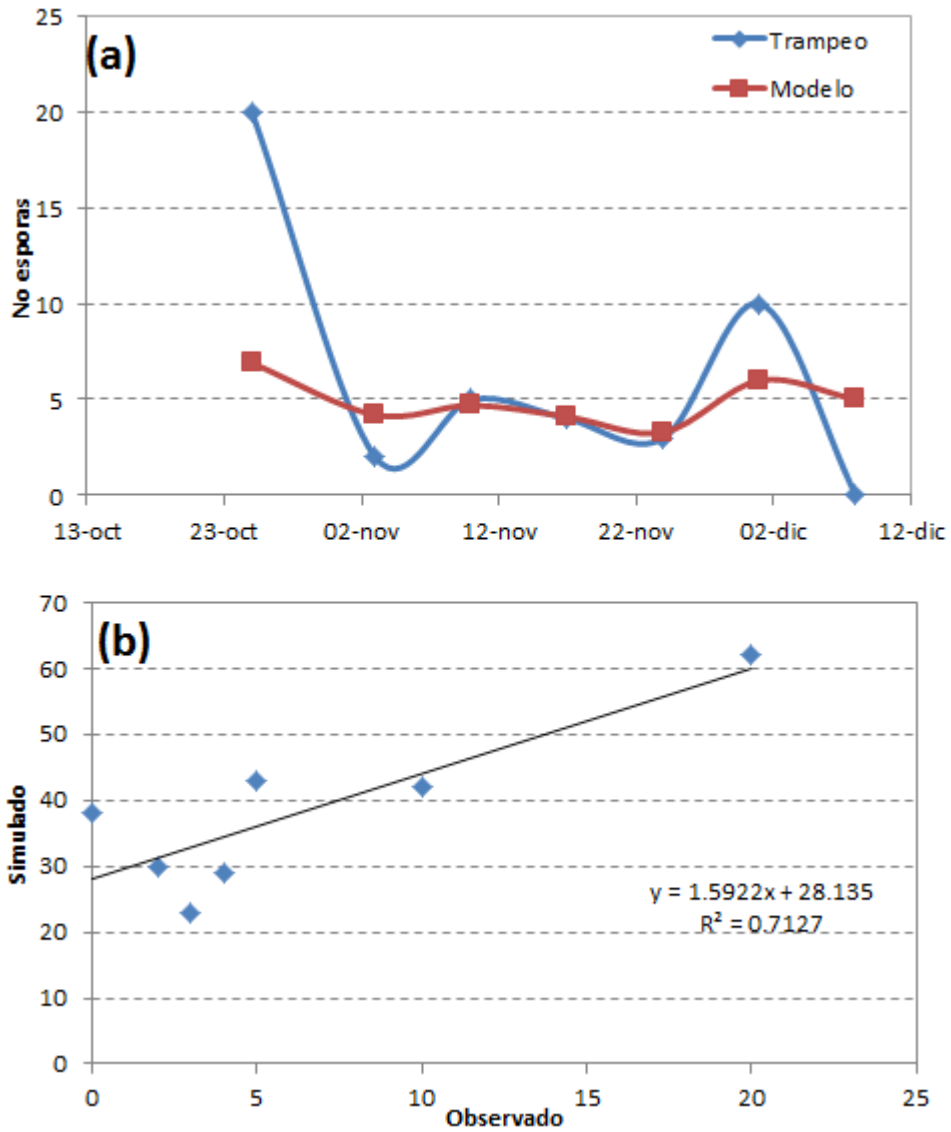


Figura 24. (a) Esporas migrantes observadas y simuladas. (b) Modelos de regresión ajustados para los datos observados y simulados de esporas migrantes en las localidades de Romita, Silao, León, Celaya y Comonfort en el estado de Guanajuato en el 2013.

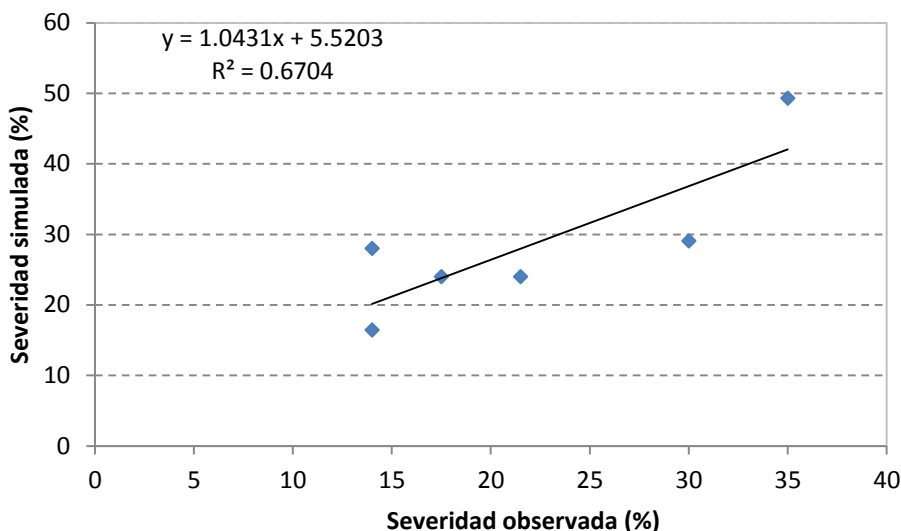


Figura 25. Modelos de regresión ajustados para los datos observados y simulados de severidad en las localidades de Romita, Silao, León, Celaya y Comonfort en el estado de Guanajuato en el 2013.

La severidad responde a la cantidad de inóculo. Y ajusta al comportamiento de una enfermedad policíclica. Su avance en el tiempo y la cantidad de ciclos de reinfección esta modulada por la temperatura, humedad en el sistema afectando las tasas de desarrollo de la enfermedad.

#### 4.4 Análisis el riesgo de infección de roya de la soya (*P. pachyrhizi*) bajo diferentes escenarios de clima en México.

Los municipios donde ha sido detectada la enfermedad se muestran en la Figura 26. La enfermedad ha sido reportada en México desde el 2005 en varios estados de la república mexicana (Tamaulipas, Veracruz, San Luis Potosí, Chiapas y Campeche, Guanajuato, Guerrero, Nayarit, Sinaloa y Yucatán). En este sentido, Tamaulipas es el único estado que desde 2005 y hasta la fecha ha informado de la enfermedad año con año. En Veracruz desde 2006 ha sido reportada en los cultivos de soya y jícama. En San Luis Potosí se ha reportado roya desde el 2005, excepto en el año 2009. En Chiapas, fue confirmada en los años 2008, 2009 y

2011. En el caso de Campeche en los años 2006 y 2011 ha habido detecciones positivas de la enfermedad. En el 2013 se hicieron importantes detecciones en distintos estados como Guanajuato en el cultivo de jícama, Guerrero en jícama y frijol, Nayarit Jícama y frijol y en Yucatán en soya.

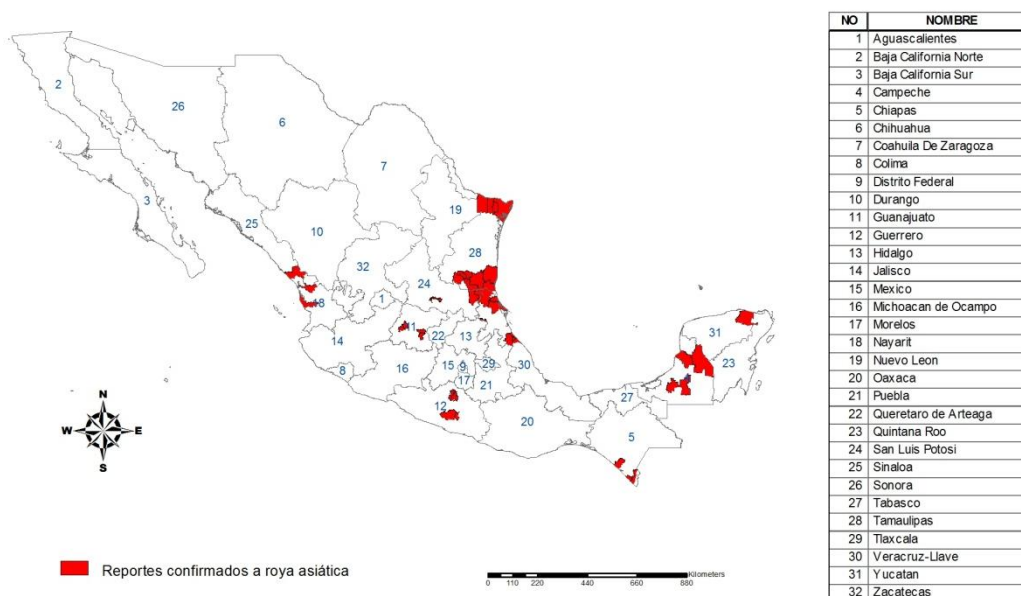


Figura 26. Reportes confirmados de roya asiática de la soya en México desde 2005. El mapa fue creado a partir de datos públicos de MIP-pipe (2012), SCOPE (2012) y SENASICA (2012).

En México la superficie sembrada con especies de importancia económica susceptibles a la enfermedad representa el 7.9% y 1.5% de la superficie agrícola en el verano y el invierno, respectivamente (Cuadro 5). El resumen de la superficie sembrada con los hospederos susceptibles de importancia económica lo podemos observar en la Cuadro 5, Sin embargo estos cultivos están distribuidos a lo largo del país, en mayor o menor medida.



Cuadro 5. Superficie sembrada (ha) de cinco hospederos de roya asiática en los ciclos de invierno y primavera verano en el año 2010 (SIAP, 2011).

<b>Hospedero</b>	<b>Invierno</b>	<b>Verano</b>
Frijol	327,028.80	1,560,460.73
Haba	3,664.50	27,181.18
Jícama	2,855.00	3,952.00
Soya	398.63	164,612.07
Superficie total con hospedero	333,946.93	1,756,205.98
Área agrícola total	21,952,745.02	

Nota: La superficie agrícola total de México incluye cultivos anuales y perennes en el verano y la temporada de invierno.

En la Figura 26a y 26b se muestra la frecuencia acumulada de días con condiciones favorables para la infección de *P. pachyrhizi* tanto en verano como en invierno en la república mexicana. La figura anteriormente mencionada muestra que en la temporada de invierno existe una baja frecuencia de condiciones favorables para la infección en comparación con el verano, esto combinado con una reducida superficie sembrada con los hospederos, resulta en un menor riesgo de la enfermedad en esta temporada. Sin embargo, en verano se tiene la mayor área con hospedero susceptible lo que coincide con un incremento del área con condiciones favorables de clima para la enfermedad, a lo largo de la costa del Golfo de México.

#### **4.4.1 Resultados del ciclo otoño-invierno.**

En el ciclo de otoño-invierno se analizaron las condiciones climáticas, de noviembre a marzo. En general, el norte y centro de México muestra una baja frecuencia de condiciones favorables. La zona agrícola ubicada en los estados de Baja California, Baja California Sur, Durango, Sonora, Sinaloa, Zacatecas, Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato, el norte de Michoacán, Querétaro, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala, Estado de México y la zona central de Oaxaca mostró valores de

frecuencia de condiciones favorables en un rango de 0 a 0.3. Esta zona representa el 60% de la superficie agrícola. Del mismo modo, se alcanzaron frecuencias de entre 0,3 y 0,5 con condiciones favorables en los estados de Nayarit, el sur de Tamaulipas, San Luis Potosí, el norte de Veracruz, el norte de Guerrero, y el centro de Chiapas, esta área representa el 22% del área agrícola. Las zonas costeras del sur de Veracruz, Tabasco, Yucatán, Quintana Roo, y la costa del Pacífico de Oaxaca, Guerrero y Michoacán presentaron los valores más altos, con frecuencias de hasta 0,9 días con condiciones favorables (Figura 27a).

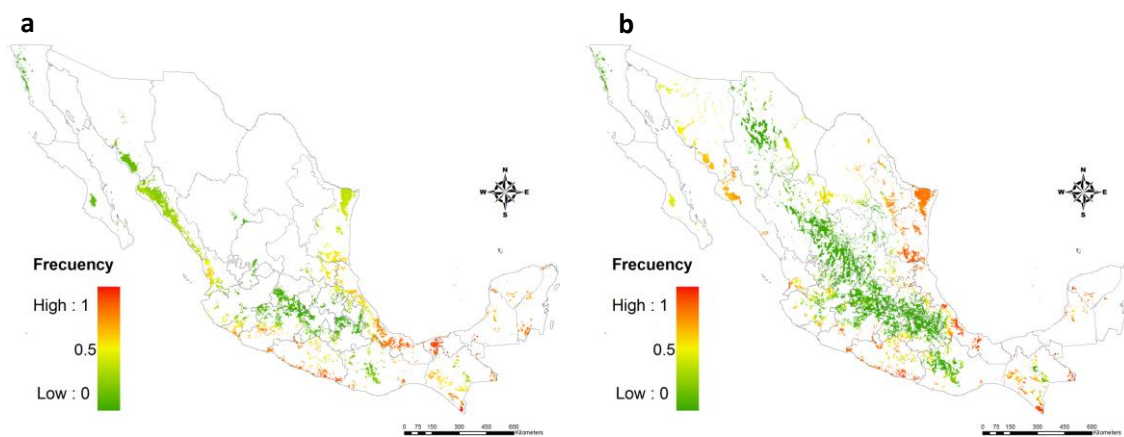


Figura 27. Distribución de condiciones climáticas favorables para la roya de la soya en México. (a) invierno (noviembre a abril), (b) Verano (mayo a octubre).

#### 4.4.2 Resultados del ciclo Primavera-verano.

Se analizaron las condiciones climáticas, de mayo a octubre. En general, el norte y centro de México mostraron mayores condiciones favorables. La superficie agrícola ubicada en los estados de Baja California, Chihuahua, Durango, Zacatecas, Aguascalientes, el norte de Jalisco, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Estado de México, Tlaxcala, el norte de Michoacán, Puebla y al oeste de Guerrero mostró frecuencias de condiciones favorables en el rango de 0 a 0,3. Esta área

representa el 50% de la tierra agrícola. Valores desde 0,3 hasta 0,6 de condiciones favorables se alcanzan, principalmente en los estados de Baja California Sur, Monterrey, centro de Guerrero, centro de Chiapas, Jalisco y el norte de Guerrero. Esto representa el 14% de la superficie sembrada a nivel nacional. Las zonas costeras de Veracruz, Yucatán y la costa del Pacífico de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Jalisco, Nayarit, Sinaloa y Sonora presentaron los valores más altos, en un rango de 0,6 a 1 de días con condiciones favorables (Figura 27b).

#### **4.4.3 Análisis de riesgo por mes.**

La figura 28 muestra la frecuencia de días con condiciones climáticas favorables para la infección por *P. pachyrhizi* en los meses de noviembre a abril. En noviembre (Figura 28a) áreas importantes con valores de 0,6 a 1,0 puede ser identificadas. Estas áreas corresponden a las zonas costeras de los estados de Veracruz, el sur de Tamaulipas, Tabasco, Quintana Roo, Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán y Nayarit. Mientras que en diciembre, enero y febrero (Figura 28b, 28c, 28d, respectivamente), situación que influye en las zonas del norte de Tamaulipas y Nayarit, pero aumenta de nuevo en marzo (Figura 28e) y abril (Figura 28f), alcanzando valores cercanos a 1,0 a lo largo de la costa del Golfo de México.

La figura 29 muestra la frecuencia de días con condiciones climáticas favorables para la infección por *P. pachyrhizi* de mayo a octubre (temporada de verano). En mayo (figura 29a) el mayor riesgo se mantiene en las mismas zonas que en el mes anterior (abril). Prácticamente todas las zonas agrícolas cercanas a la costa que rodea el país alcanzaron valores de 1,0 para el riesgo de infección en los meses de junio, julio, agosto y septiembre (Figura 29b, 29c, 29d, 29e, respectivamente). En octubre (Figura 29F), estos valores disminuyen ligeramente entre 0.6 - 0.7 en la mayor parte de estas zonas. Por el contrario, las zonas centrales de gran altitud del país presentan condiciones de bajo riesgo (valores cercanos a cero) durante todo el año.

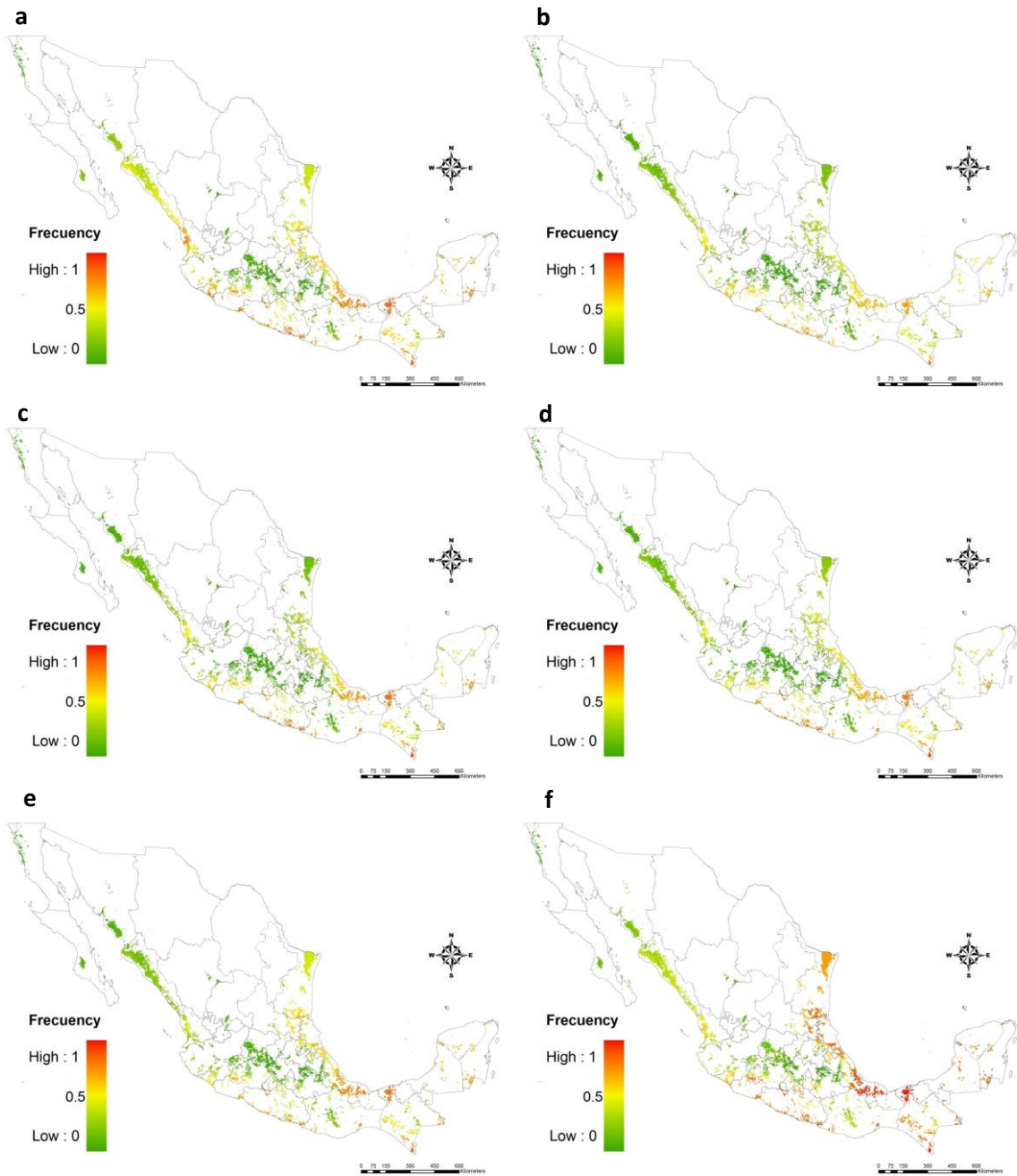


Figura 28. Evolución mensual de condiciones climáticas favorables para la roya de la soya por mes en la temporada de invierno (a) noviembre; (b) diciembre; (c) Enero, (d) febrero; (e) marzo; (f) abril.

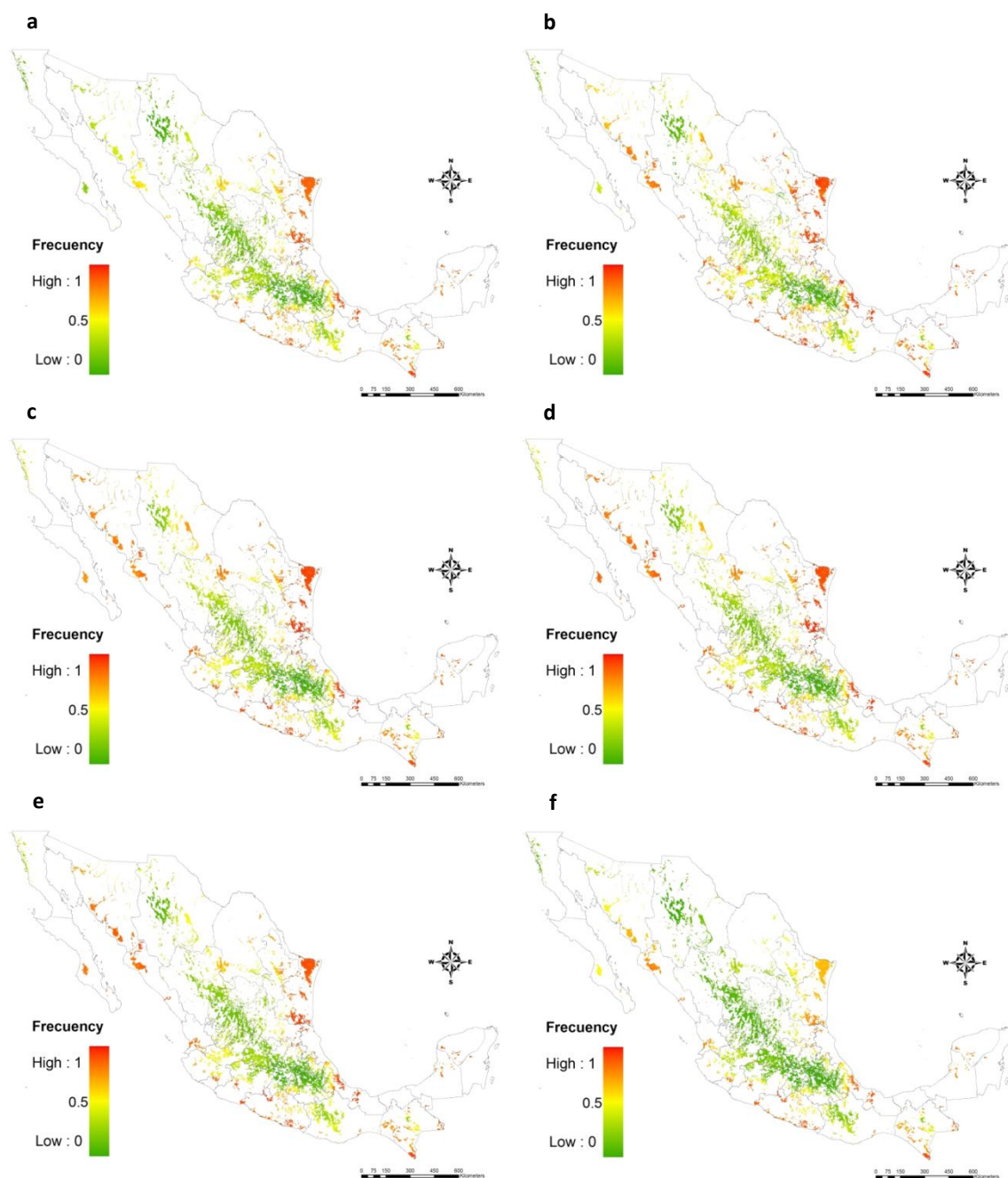


Figura 29. Evolución mensual de las condiciones climáticas favorables para la roya de la soya en México en la temporada de verano (a) mayo, (b) junio; (c) julio; (d) agosto; (e) septiembre; (f) octubre.

Limitar la introducción de especies invasoras es de suma importancia. Cuando se descubre una nueva especie, se requiere saber con precisión su potencial de invasión, la distribución geográfica y la posibilidad de la erradicación. Estos factores son importantes con el fin de preservar los ecosistemas (Parker y *et al.*, 1999; Gutiérrez y Ponti, 2011). La roya de la soya causada por *P. pachyrhizi* es un claro ejemplo de una enfermedad invasiva que ha generado gran polémica y expectativa de daño, sobre todo después de las epidemias de soya producidas en los Estados Unidos de América.

Desde 2005, ASR ha sido reportada en las zonas restringidas de municipios de cinco estados de México: Tamaulipas, Veracruz, San Luis Potosí, Chiapas y Campeche (Figura 26). Desde esta fecha hasta la actualidad, Tamaulipas es el único estado que ha reportado la enfermedad anualmente; sin embargo, ha sido reportada en Veracruz infectando cultivos de soya y jícama desde 2006. En San Luis Potosí ha sido reportada desde 2005 hasta la actualidad, excepto en el año 2009. La enfermedad fue confirmada en Chiapas en los años 2008, 2009 y 2011. En Campeche en los años 2006 y 2011 (SENASICA, 2012; IPM-PIPE, 2012, SCOPE, 2012). Esto es consistente con los resultados del análisis. Como pudimos constatar, los estados cercanos al Golfo de México muestran condiciones favorables de temperatura y humedad para la infección. Similarmente Estados costeros del sur cercanos al Océano Pacífico muestran las condiciones altas para la infección.

Los resultados muestran que hay coincidencia en los resultados de la delimitación de zonas de riesgo y los sitios reportados como positivos a la enfermedad en los estados de Tamaulipas, Veracruz, Campeche, Chiapas, Yucatán Sinaloa, Nayarit y Guanajuato.

Con base en los sitios analizados, se encontró que el período de noviembre a marzo, mostró un mayor número de días con condiciones para la enfermedad, así como una mayor superficie con huésped susceptible en comparación con el

período de mayo a octubre. Esto significa que, en invierno, las condiciones climáticas y las densidades de hospedero son menos favorables para la hibernación hongo. Estos resultados son opuestos a la propuesta por Pivonia y Yang (2005). Sólo las áreas centrales del pacífico mostraron condiciones adecuadas para ASR hibernación, sin embargo, la reducción de la superficie de hospedantes producen períodos cortos de clima favorable para la infecciones. El aumento en las zonas con clima favorable para la infección es causada por dos variables: largos períodos de humedad (lluvia, rocío o humedad relatividad) y temperatura. Esta condición da el hongo la suficientemente humedad para la germinación de las esporas aumentando la probabilidad de la infección. Además, la mayor superficie sembrada con hospederos aumenta la probabilidad de intercepción de esporas en los cultivos.

Aunque la roya de la soya se han encontrado en México en la soya y jícama, y más recientemente en frijol, la superficie sembrada de estos cultivos es relativamente baja tanto en invierno y verano. El verdadero peligro para la agricultura mexicana depende de la confirmación de la susceptibilidad del frijol común. Además, la baja disponibilidad de hospedantes susceptibles, las condiciones climáticas menos favorables en la temporada de invierno nos llevan a pensar que el riesgo de que la enfermedad hiberne en México es muy pequeña. Los esfuerzos deben mantenerse en la caracterización respuesta de la enfermedad de los genotipos de frijol en México y en la vigilancia general de las interacciones clima-huésped-patógeno.

## V. CONCLUSIONES

El modelaje dinámico de la patogénesis de *P. pachyrhizi* en los diferentes ciclos de producción permitió determinar que el mayor riesgo de que se presente esta enfermedad ocurre en el ciclo primavera-verano y en menor medida en ciclo otoño-invierno, esto se debe a la coincidencia de temperaturas favorables y humedad relativa alta en el periodo de lluvias de mayo a noviembre.

Las condiciones óptimas para el inicio de la patogénesis de *P. pachyrhizi* son la presencia de agua libre y temperatura alrededor de los 23 °C. Si no existe agua libre en la hoja o la temperatura se encuentra fuera del rango de 10 a 28 °C la infección no ocurre.

Los datos analizados sugieren que el modelo de infección de *Phakopsora pachyrhizi* representa de manera confiable los procesos de infección desarrollo y severidad de esta epidemia y en tal sentido puede ser utilizado para apoyar estudios epidemiológicos y estrategias de manejo de la enfermedad. Es recomendable seguir probando su ajuste bajo otras condiciones climáticas y de hospedantes tomando en cuenta la susceptibilidad de cada hospedero.



## LITERATURA CITADA

- APHIS. 2002. NPGA Data: *Phakopsora pachyrhizi* austral-asian Soybean Rust. 1-14 p. Disponible en: [www.aphis.usda.gov](http://www.aphis.usda.gov) (09/12/2002).
- Alexopoulos, C. J., C. W. Mims, and M. Blackwell. 1996. Introductory Mycology. John Wiley & Sons Inc, New York, 564pp.
- Balardín, R. 2004. Manejo de la roya de la soya. Experiencias en Brasil (III). En: Principales conclusiones del Panamerican Soybean Rust Workshop. Estación Experimental Agroindustrial "Obispo Colombes". Publicación especial No. 24, Tucumán, Argentina.
- Bromfield, K. R. 1984. Soybean rust, Monograph No.11. The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, 57 pp.
- Cárcamo, R. A., R. J. Aguilar and J. R. Hernández. 2006. First report of Asian Soybean Rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* from Mexico. Plant Disease 90(9): 1260.
- Castellanos-Ramos Z.J., Acosta-Gallegos J.A., Rodríguez O.N. 2009. Biological nitrogen fixation and tuber yield of yam bean in central Mexico. Agricultura Técnica en México. 35(3): 277-283.
- Coker, C., K. Hurst, T. Kirkpatrick, J. Rupe, C. Tingle and M. Trent. 2006. Asian Soybean Rust. University of Arkansas Cooperative Extension Service Printing Services. 1-8 p.
- Cummins, G. B. and Y. Hiratsuka. 2004. Illustrated genera of rust fungi, Third edition. American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, 240pp.
- Frederick, R.D., C. L. Synder, G.L. Peterson and M.R. Bonde. 2002. Polymerase chain reaction assay for the detection and discrimination of the soybean rust pathogens *Phakopsora pachyrhizi* and *P. meibomia*. Phytopathology 92(2): 217-227.
- Del Ponte, E. M., Godoy C. V., Li X. and Yang X. B. 2006. Predicting severity of Asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. Phytopathology 96(7): 797-803.
- Gálvez, M. R., L. D. Ploper, V. González, A. Rojas, S. Ruiz, W. Rodríguez y M. R. Devani. 2006. Evaluación de fungicidas para el control de la roya de la soya en Tucumán durante la campaña 2005/06. Estación Experimental Agroindustrial "Obispo Colombes", Tucumán Argentina. Actas del Mercosoja. 419-422 p.
- Garrett, K. A., S. P. Dendy, E. E. Frank, M. N. Rouse, and S. E Travers. (2006). Climate change effects on plant disease: genomes to ecosystems. Annu. Rev. Phytopathol. 44, 489-509.

- Hartman, G. L., M. R. Miles and R. D. Frederick. 2004. Epidemiology and spread of soybean rust. American seed trade association conference proceedings 1-9.
- Hernández, J. R. 2004. Invasive Fungi. Asian soybean rust. Systematic Mycology and Microbiology Laboratory, ARS, USDA. Disponible en: <http://nt.ars-grin.gov/sbmlweb/fungi/index.cfm> (21/03/2010).
- Hibbett, D. S., M. Binder, J. F. Bischoff, M. Blackwell, P. F. Cannon, O. E. Eriksson, S. Huhndorf, T. James, P. M. Kirk, R. Lu Cking, H. Thorstein Lumbsch, F. Lutzoni, P. B. Matheny, D. J. Mclaughlin, M. J. Powell, S. Redhead, C. L. Schoch, J. W. Spatafora, J. A. Stalpers, R. Vilgalys, M. C. Aime, A. Aptroot, R. Bauer, D. Begerow, G. L. Benny, L. A. Castlebury, P. W. Crous, Y. Dai, W. Gams, D. M. Geiser, G. W. Griffith, C. Gueidan, D. L. Hawksworth, G. Hestmark, K. Hosaka, R. A. Humber, K. D. Hyde, J. E. Ironside, U. Ko-Ljalg, C. P. Kurtzman, K. Larsson, R. Lichtwardt, J. Longcore, J. Mia Dlikowska, A. Miller, J. Moncalmo, S. Mozley-Standridge, F. Oberwinkler, E. Parmasto, V. Reeb, J. D. Rogers, C. Roux, L. Ryvardeen, J. P. Sampaio, A. Schu"bler, J. Sugiyama, R. G. Thorn, L. Tibell, W. A. Untereiner, C. Walker, Z. Wang, A. Weir, M. Weiss, M. M. White, K. Winka, Y. Yao y N. Zhang. 2007. A higher-level phylogenetic classification of the fungi. *Mycological Research* 111(5): 509-547.
- Isard, S. A., J. M. Russo. 2007. Sentinel plots in the United States: Modeling the seasonal spread of soybean rust in North America. En: A. Dorrance, M. Draper y D. Hershman (ed.). *Using foliar fungicides to manage soybean rust*, pp. 39-40. Land-Grant Universities Cooperating NCERA-208 y OMAF, Columbus.
- Levy, C. 2005. Epidemiology and chemical control of soybean rust in Southern Africa. *Plant Disease* 89(6): 669-674.
- Miles, M. R., G. L. Hartman, and R. D. Frederick. 2003. Epidemiology and spread of soybean rust. In *Proceedings of the Thirty-third Soybean Seed Research Conference 2003: American Seed Trade Association Pub. No. 33*.
- NAPPO. 2006. Detección de la roya asiática de la soya (*Phakopsora pachyrhizi*), en los estados de Tamaulipas y San Luis Potosí México. Disponible en: [http://www.aphis.usda.gov/plant\\_health/plant\\_pest\\_info/soybean\\_rust/](http://www.aphis.usda.gov/plant_health/plant_pest_info/soybean_rust/) (06/12/2010).
- Pan, Z., X. B. Yang, S. Pivonia, L. Xue and R. Pasken. 2006. Long-term prediction of soybean rust entry into the continental United States. *Plant Disease* 90(7): 840-846.
- Petzoldt C. and A. Seaman. 2006. *Climate Change Effects on Insects and Pathogens*. New York State IPM Program, 630 W. North St., New York State Agricultural Extension Station, Geneva, NY 14456. Disponible en <http://www.climateandfarming.org/pdfs/FactSheets/III.2Insects.Pathogens.pdf>

- Rossi, R. L. 2003. First Report of *Phakopsora pachyrhizi*, the causal organism of soybean rust in the province of Misiones, Argentina. *Plant Disease* 87(1): 102.
- Pivonia, S. and X. B. Yang. 2004. Assessment of the potential year-round establishment of soybean rust throughout the world. *Plant Disease* 88(5): 523-529.
- Plopper, D. L. 2004. La roya de la soya. En: Principales conclusiones del Panamerican Soybean Rust Workshop. Estación Experimental Agroindustrial "Obispo Colombres". Sección comunicaciones. Publicación especial No. 24, Tucumán, Argentina.
- Ploper, D. L. and R. M. Devani 2002. La roya de la soya: Principales aspectos de la enfermedad y consideraciones sobre su manejo. *Soya en siembra directa*. Octubre 2002. 51-55 p.
- Posada, B. M. L. and R. D. Frederick. 2005. Expressed sequence tag analysis of the soybean rust pathogen *Phakopsora pachyrhizi*. *Fungal Genetics and Biology* 42:949-962.
- Quijano, C. J. A. 1991. Un modelo de simulación para la predicción del comportamiento del frijol (*Phaseolus spp.*). 1er. Simposio nacional del frijol. Durango, Dgo.
- Sarasola, A.A y M. A. Rocca. 1975. Fitopatología curso moderno Tomo I. Buenos Aires. Hemisferio Sur, .364 p.
- Rabbinge, R., S.A. Ward and H.H. Van Laar. 1989. Simulation and systems management in crop protection. Monographs 32. Pudoc, Wageningen.
- Roberts, D. A. and C. W. Boothroyd. 1975. Fundamentals of plant pathology. Ed. W.H. Freeman and company. San Francisco. 424 p.
- SIAP. (2009). Disponible en: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx> (12/01/2010).
- Terán, V. A. P., L. G. Ascencio, M. N. Maldonado y V. J. Ávila. 2007. La roya asiática de la soya en México. Folleto técnico núm. 22. INIFAP- CEHUAS. Altamira, Tamaulipas, México.
- Villavicencio, A. L., G. B. Fanaro, M. M. Araújo, S. Aquino, P. V. Silva , and J. Mancini-Filho . 2007. Detection of *Phakopsora pachyrhizi* by polymerase chain reaction (PCR) and use of germination test and DNA comet assay after e-beam processing in soybean. *Radiation Physics and Chemistry* 76: 1878-1881.
- Yorinori, J. T., W. M. Paiva, R. D. Frederick, L. M. Costamilan, P. F. Bertagnolli, G. E. Hartman, C.V. Godoy, and J. Nunes. 2005. Epidemics of soybean rust

(*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. Plant Disease 89(6): 675- 677.

Yorinori, J. T., J. J. Nunes, and J.J. Lazzarotto. 2004. Ferrugem “asiática” da soya no Brasil: evolucao importancia economica e controle. Documentos 247. EMBRAPA. Londrina, Brasil. 36 p.

Yañez, M. M. J., M. I. Alaniz, R. J. M. Soto, D. K. Malvick, J. E. Kurle, C. M. Floyd, and V. Kupra. 2009. Soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* detected in the estate of Campeche on the Yucatan peninsula, Mexico. Plant Disease 93: 847.

Yeh, C. C., Sinclair, J. B., and Tschanz, A. T. 1982. *Phakopsora pachyrhizi*: Uredial development uredospore production and factors affecting teliospore formation on soybeans. Aust. J. Agric. Res. 33:25-32.

**Anexo 1. Documentación entregada a INDAUTOR para el registro de la propiedad intelectual.**

**MODELO DE SIMULACIÓN DE LA PATOGENESIS DE ROYA ASIATICA DE LA SOYA (RAS\_EPIDEMIA.vmf)**

**CONTENIDO**

<b>COMPONENTE</b>	<b>PÁGINA</b>
1. DESCRIPCIÓN DE PANTALLA	
2. CÓDIGO FUENTE	
3. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA FUNCIONALIDAD	
4. DATOS INICIALES	
5. DIAGRAMAS UTILIZADOS EN EL DISEÑO DEL MODELO	
5.1 Diagrama causal.	
5.2 Diagrama de Producción y deposición de esporas.	
5.3 Diagrama del crecimiento de la enfermedad	
5.5 Diagrama de caso general de uso	

## 1. DESCRIPCIÓN DE PANTALLA.

Para la ejecución del modelo de la epidemia de roya asiática (RAS\_EPIDEMIA.vmf) se requiere contar con el programa Vensim en versión Model Reader, la cual es de distribución gratuita. El modelo incluye el programa Model Reader. Para iniciar el modelo se da doble clic en el nombre del modelo RAS\_EPIDEMIA.vmf Al abrir el modelo se presenta la pantalla siguiente:

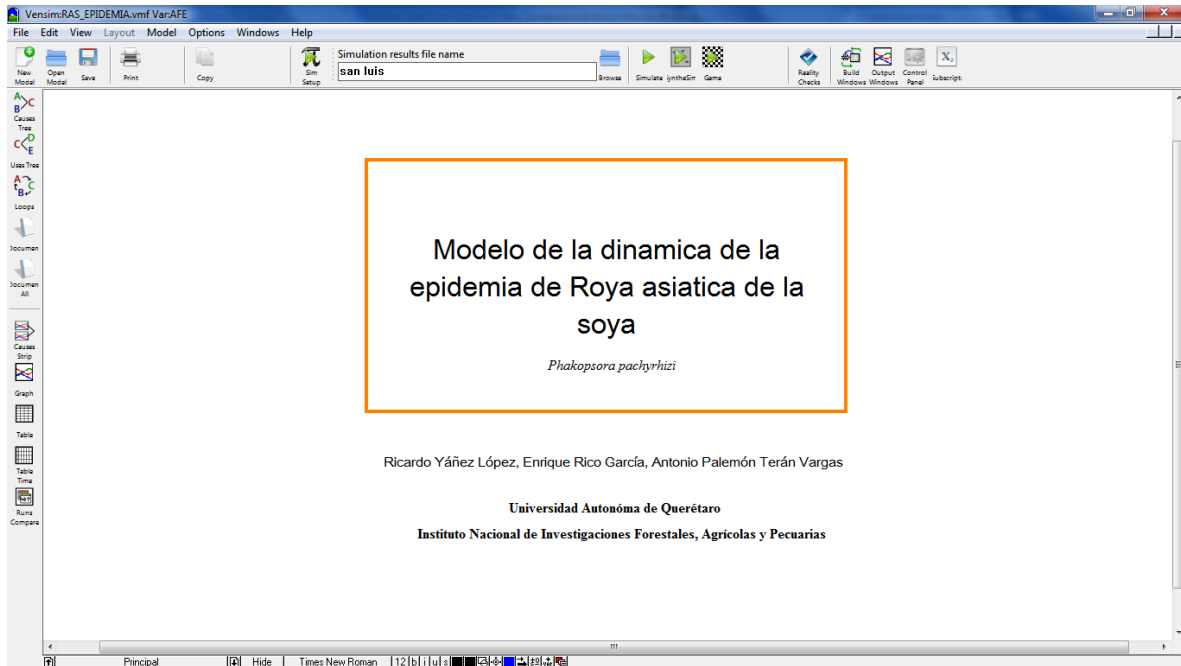


Figura 1. Detalle de la vista principal del modelo de la epidemia de roya asiática, en Model reader para Windows.

Esta pantalla permite explorar la estructura del modelo a través de las barras de desplazamiento horizontal y vertical, así como las vistas correspondientes a los diferentes módulos. Presionando sobre la barra inferior izquierda, donde aparece la vista “Principal” (Figura 1), se despliegan las demás ventanas. Al dar un clic sobre el módulo “Roya asiática” se cambia la vista al módulo correspondiente a la epidemia, como se muestra en las siguientes pantallas (Figura 2).

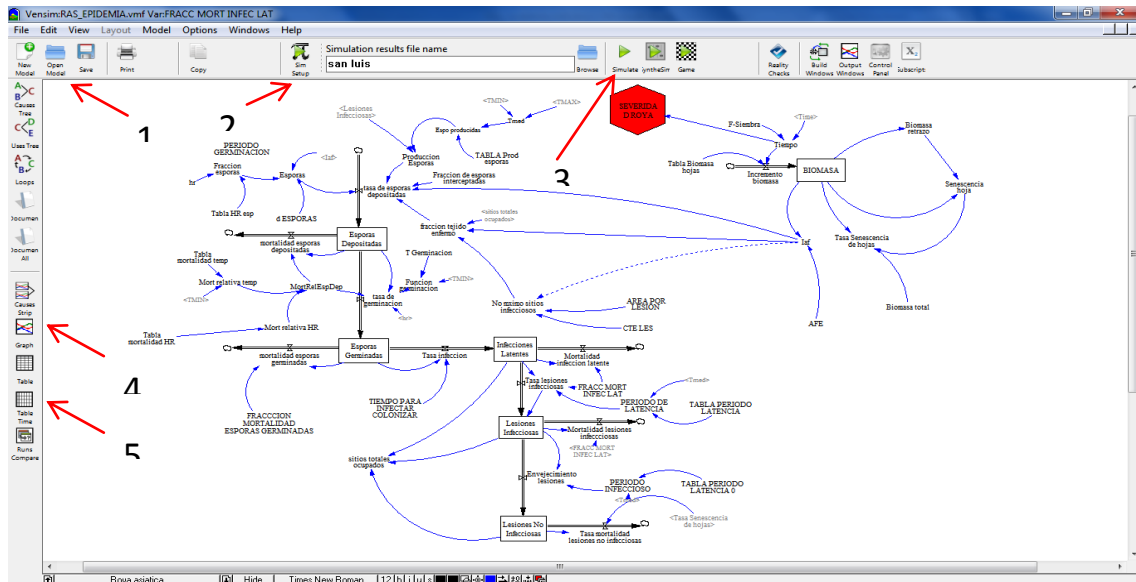


Figura 2. Módulo de infección de roya asiática. 1) Ícono para abrir modelo, 2) Establecer simulación, 3) Ejecutar simulación, 4) Activar gráfico, 5) Visualizar datos.

Para ejecutar el modelo se presiona el icono de simular, el cual se encuentra ubicado en la barra de herramientas principal del programa. Para realizar cambios a las constantes y a las variables tablas solamente hay que dar un clic sobre la variable a cambiar y se escribe el valor. Para realizar el cambio en el dato de entrada debemos seleccionar el icono de Browse y especificar la ruta del archivo de entrada que contiene los datos de clima.

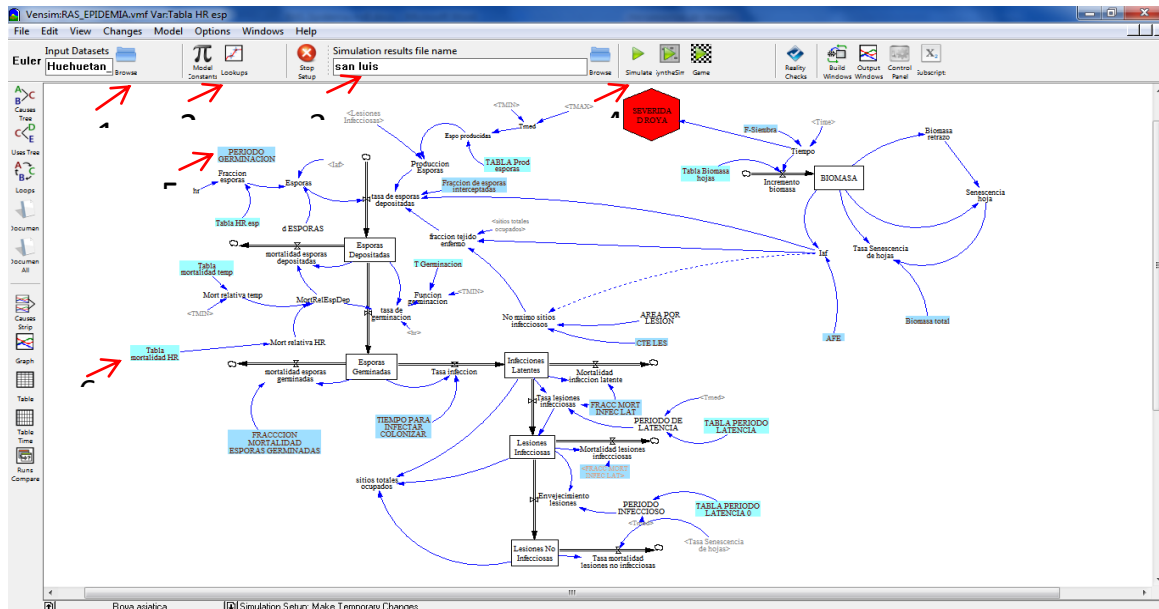
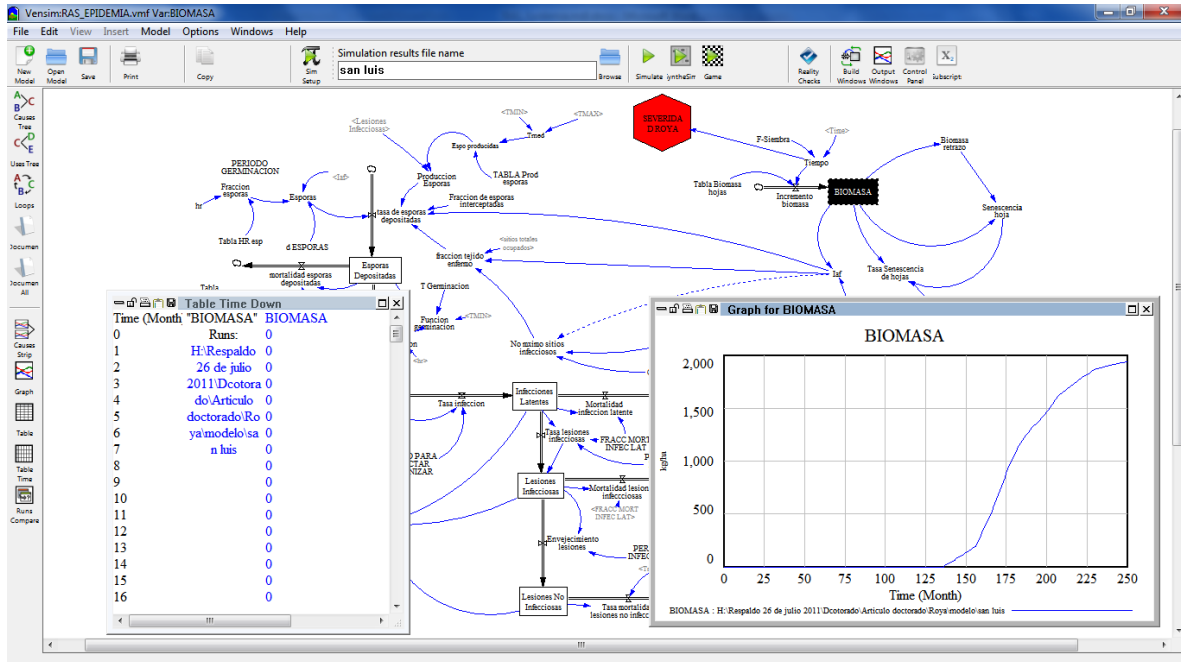


Figura 3. Ventana del modelo de epidemia de roya asiática estableciendo la simulación. 1) Icono para seleccionar datos de entrada, 2) Constantes del modelo y tablas, 3) Nombre del archivo de salida que contendrá los resultados de la

simulación, 4) Iniciar simulación, 5) Constante resaltada en azul oscuro, 6)constate resaltada en azul claro.

Antes de ejecutar la simulación, se asigna un nombre a la corrida en el espacio correspondiente a "Simulation results file name" y posteriormente se presiona el botón "Simulate". Una vez ejecutada la simulación, los resultados se pueden revisar ya sea en forma de gráfica o de tabla, seleccionando antes la variable o grupo de variables que se desea analizar como se muestra en la pantalla siguiente:



Por default, el programa siempre muestra la evolución de las variables seleccionadas en función del tiempo. Los resultados tanto en formato de tabla como de gráfica se pueden exportar a una hoja de cálculo.

Las salidas de este modelo se relacionan con las variables que representan la biomasa del cultivo, la producción de esporas y su deposición la generación de sitios infecciosos y la Severidad de la enfermedad que es el porcentaje de tejido enfermo.

## 2. CÓDIGO FUENTE DEL MODELO.

AFE= 0.0015

~ ha/kg

~ Constante Área Foliar Especifica

|

AJUSTE= 1

~ day

~

|



AREA POR LESION= 3.5/1e+007

~ ha/ha

~ de 2 a 5 mm<sup>2</sup> (Monte et al., 2003)

BIOMASA= Incremento biomasa

~ kg/ha

Biomasa retraso= DELAY FIXED(BIOMASA,0,0 )

~ kg/ha

Biomasa total= 1900

~ kg/ha

CTE LES= 1

~ lesión/ha

d ESPORAS= RANDOM NORMAL(0, 100, 100 , 100, 100 )

~ esporas/ha/day

~ El número de esporas inicial para la enfermedad RANDOM  
NORMAL(0, 10000 \ , 500 , 10000, 100 )

Envejecimiento lesiones= Lesiones Infecciosas/PERIODO INFECCIOSO

~ Lesiones/(day\*ha)

Espo producidas= TABLA Prod esporas(Tmed)

~

Esporas= IF THEN ELSE(laf=0,0,Fraccion esporas\*d ESPORAS)

~ esporas/(day\*ha)

Esporas Depositadas= INTEG ( tasa de esporas depositadas-mortalidad esporas  
depositadas-tasa de germinación, 0)

~ esporas/ha

Esporas Germinadas= INTEG ( tasa de germinación-mortalidad esporas  
germinadas-Tasa infección, 0)

~ esporas/ha

"F-Siembra"= 135

~ day

FRACC MORT INFEC LAT= 0.01

~ Dmnl

~ |

FRACCCION MORTALIDAD ESPORAS GERMINADAS= 0.4

~ 1/day

~ |

Fracción de esporas interceptadas= 0.03

~ Dmnl

~ Se asume que no más del 1% de las esporas produce una lesión (Rabbinge, \ 1989).

~ |

Fracción esporas= Tabla HR esp(hr)

~ Dmnl

~ |

Fracción tejido enfermo= IF THEN ELSE(laf=0,0,sitios totales ocupados/No máximo sitios infecciosos)

~ Dmnl

~ IF THEN ELSE(laf=0,0,sitios totales ocupados/No máximo sitios infecciosos)

~ |

Función germinación= T Germinación(TMIN )

~ Marchetti, M. A., Melching, J. S., and Bromfield, K. R. 1976. The effects of temperature and dew period on germination and infection by uredospores of *Phakopsora pachyrhizi*. *Phytopathology* 66:461-463.

~ |

hr

~ porcentaje

~ |

laf= BIOMASA\*AFE

~ ha/ha

~ |

Incremento biomasa= Tabla Biomasa hojas (Tiempo)

~ kg/ha

~ |

Infecciones Latentes= INTEG (Tasa infección-Mortalidad infección latente-Tasa lesiones infecciosas, 0)

~ Lesiones/ha

~ |

Lesiones Infecciosas= INTEG (Tasa lesiones infecciosas-Envejecimiento lesiones-Mortalidad lesiones infecciosas, 0)

~ Lesiones/ha

~ |  
 Lesiones No Infecciosas= INTEG (Envejecimiento lesiones-Tasa mortalidad  
 lesiones no infecciosas, 0)  
 ~ Lesiones/ha  
 ~ |  
 Mort relativa HR= Tabla mortalidad HR(hr)  
 ~ 1/day  
 ~ |  
 Mort relativa temp= Tabla mortalidad temp(TMIN)  
 ~ 1/day  
 ~ |  
 Mortalidad esporas depositadas= Esporas Depositadas\*MortRelEspDep  
 ~ esporas/(day\*ha)  
 ~ |  
 Mortalidad esporas germinadas= Esporas Germinadas\*FRACCCION  
 MORTALIDAD ESPORAS GERMINADAS  
 ~ esporas/(day\*ha)  
 ~ |  
 Mortalidad infeccion latente= (Infecciones Latentes\*FRACC MORT INFEC LAT)  
 ~ esporas/(day\*ha)  
 ~ (Infeccion Latente\*FRACC MORT INFEC LAT)/PERIODO DE  
 LATENCIA  
 |  
 Mortalidad lesiones infecciosas= Lesiones Infecciosas\*FRACC MORT INFEC LAT  
 ~ Lesiones/(ha\*day)  
 ~ Lesiones Infecciosas\*(Tasa Senescencia de hojas/PERIODO  
 INFECCIOSO)  
 |  
 MortRelEspDep= (Mort relativa HR\*0.5)+(Mort relativa temp\*0.5)  
 ~ 1/day  
 ~ |  
 No máximo sitios infecciosos= laf/AREA POR LESION\*CTE LES  
 ~ lesion/ha  
 ~ |  
 PERIODO DE LATENCIA= TABLA PERIODO LATENCIA(Tmed)  
 ~ day  
 ~ |  
 PERIODO GERMINACION= 2  
 ~ day  
 ~ |

PERIODO INFECCIOSO= TABLA PERIODO LATENCIA 0(Tmed)

~ day

~ Pivonia y Yang, 2006

|

Producción Esporas= Espo producidas\*Lesiones Infecciosas

~ Esporas/lesion

~ Número de lesiones hijas por lesiones madre. Yeh, C. C., Sinclair, J.

B., \ and Tschanz, A. T. 1982. *Phakopsora pachyrhizi*: Uredial development \ uredospore production and factors affecting teliospore formation on \ soybeans. Aust. J. Agric. Res. 33:25-32. (420)

|

Senescencia hoja= IF THEN ELSE(BIOMASA-Biomasa retraso<0,0,BIOMASA-Biomasa retraso)

~ kg/ha

~

Seve= IF THEN ELSE(laf>0,sitios totales ocupados/No máximo sitios infecciosos,0)\*100

~ Porcentaje

~

SEVERIDAD ROYA= IF THEN ELSE(Tiempo<70,Seve,sev)

~

~

sev= INTEG (IF THEN ELSE(Tiempo=69,IF THEN ELSE(laf>0,sitios totales ocupados/No máximo sitios infecciosos\ ,0)\*100,0), 0)

~

~

Sitios totales ocupados= Infecciones Latentes+Lesiones Infecciosas+Lesiones No Infecciosas

~ lesion/ha

~ Infección Latente+Lesiones Infecciosas+Lesiones No Infecciosas

|

T Germination( [(0,0)-(40,1)],(10,0),(15,0.4), (20,0.9),(22,0.98),(23,1),(24,0.98), (25,0.9),(27,0.4)\ ,(28,0))

~

~ Marchetti, M. A., Melching, J. S., and Bromfield, K. R. 1976. The effects of temperature and dew period on germination and infection by uredospores of *Phakopsora pachyrhizi*. Phytopathology 66:461-463.\!\!

|

Tabla Biomasa hojas( [(0,0)-(200,2000)],(0,0), (5,43.8596),(20,192.982), (30,517.544), (40,929.825),(45,8716\ ,1114.04),(50,1529,1228.07),(55,1315.79),

(62.3853,1429.82),(71.5596,1622.81),(84.4037\,1771.93),(94.1896,1868.42),  
(110,1929.82), (114.373,1938.6),(127.829,1973.68))

~ kg/ha

~ |

Tabla HR esp( [(40,0)-(100,1)],(50,0), (55,0.001),(68.4404,0.003947),  
(80,0.01),(90,0.25),(95,0.5),(\ 100,0.8))

~ Dmnl

~ |

Tabla mortalidad HR( [(0,0)-(100,1)],(50,1), (55,0.88),(60,0.64), (80,0.54),  
(90,0.08), (95,0.01),(100,0))

~ 1/day

~ |

Tabla mortalidad temp( [(0,0)-(40,1)],(0,1),(10,0.68), (13.3333,0.486842),  
(17.4924,0.342105), (23.1193,0.157895\ ),(29.9694,0.482456),(35,1))

~ 1/day

~ |

TABLA PERIODO LATENCIA ([(0,0)-(40,40)],(0,33.6842), (3.66972,25.0877),  
(11.6208,14.5614), (15.4,13),(27,5),(40\ ,0))

~ day

~ Kitani, 1960

|

TABLA PERIODO LATENCIA 0( [(0,0)-(40,40)],(0,0),(3.66972,0), (11.6208,5),  
(22,21), (27,15),(40,0))

~ day

~ Kitani, 1960

|

TABLA Prod esporas ( [(0,0)-(40,600)],(0,0),(3.66972,0), (11.6208,5), (22,420),  
(27,400),(40,0))

~ day

~ Kitani, 1960

|

Tasa de esporas depositadas= IF THEN ELSE (laf>0,((Producción Esporas +  
Esporas)\*Fracción de esporas interceptadas\ \*(1-fraccion tejido enfermo)),0)

~ Esporas/(day\*ha)

~ |

tasa de germinación= IF THEN ELSE(hr>50,(Esporas Depositadas\*(1-  
MortRelEspDep))\*Función germinacion,0)

~ esporas/(day\*ha)

~ |

Tasa infección= Esporas Germinadas\*(1-SEVERIDAD ROYA/100)/TIEMPO PARA  
INFECTAR COLONIZAR

~ esporas/(day\*ha)  
 ~ Infec Latente\*(1-FRACC MORT INFEC LAT)/TIEMPO INFEC LAT  
 Esporas \ Germinadas\*(1-fraccion tejido enfermo)/TIEMPO PARA INFECTAR

COLONIZAR

|  
 Tasa lesiones infecciosas= Infecciones Latentes\*(1-FRACC MORT INFEC LAT)/PERIODO DE LATENCIA

~ esporas/(day\*ha)  
 ~ |  
 Tasa mortalidad lesiones no infecciosas= Lesiones No Infecciosas\*Tasa Senescencia de hojas

~ Lesiones/(ha\*day)  
 ~ |  
 Tasa Senescencia de hojas= IF THEN ELSE(BIOMASA>0, Senescencia hoja/Biomasa total,0)

~ Dmnl  
 ~ |  
 Tiempo= INTEG ( IF THEN ELSE( "F-Siembra"<Time,1,0), 0)  
 ~ day  
 ~ |

TIEMPO PARA INFECTAR COLONIZAR= 2

~ day  
 ~ |

TMAX

~  
 ~ |

Tmed= (TMAX+TMIN)/2

~  
 ~ |

TMIN

~ DIMENSIONLESS  
 ~ |

\*\*\*\*\*

.Control  
 \*\*\*\*\*~

Simulation Control Parameters

|

FINAL TIME = 250  
~ Month  
~ The final time for the simulation.

|  
INITIAL TIME = 0  
~ Month  
~ The initial time for the simulation.

|  
SAVEPER =  
TIME STEP  
~ Month [0,?]  
~ The frequency with which output is stored.

|  
TIME STEP = 1  
~ Month [0,?]  
~ The time step for the simulation.

|  
\\--// Sketch information - do not modify anything except names  
V300 Do not put anything below this section - it will be ignored  
\*Principal  
\$192-192-192,0,Times New Roman|12||0-0-0|0-0-0|0-0-255|-1--1--1|-1--1--1|96,96,5,0  
12,1,0,660,413,330,20,8,132,0,32,-1,0,0,0,0-0-0,0-0-0,@Arial Unicode MS|12||0-0-0  
Ricardo Yáñez López, Enrique Rico García, Antonio Palemón Terán Vargas  
12,2,0,662,467,153,25,8,132,0,16,-1,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|12|B|0-0-0  
Universidad Autónoma de Querétaro  
12,3,0,670,497,259,19,8,132,0,16,-1,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|12|B|0-0-0  
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias  
12,4,0,652,210,278,146,3,132,0,41,-1,4,0,0,255-128-0,0-0-0,@Arial Unicode MS|24||0-0-0  
Modelo de la dinámica de la epidemia de Roya asiática de la soya  
12,5,0,658,302,96,15,8,132,0,16,-1,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|12||0-0-0  
Phakopsora pachyrhizi

\\--// Sketch information - do not modify anything except names  
V300 Do not put anything below this section - it will be ignored  
\*Roya asiática  
\$192-192-192,0,Times New Roman|12||0-0-0|0-0-0|0-0-255|-1--1--1|-1--1--1|96,96,5,0  
10,1,d ESPORAS,458,-270,49,11,0,3,0,8,-1,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
10,2,Esporas Depositadas,609,-217,59,30,3,131,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0

10,3,Esporas Germinadas,613,69,59,31,3,131,0,8,0,0,0,0,0-0-0,|14||0-0-0  
 10,4,Infecciones Latentes,964,66,50,32,3,131,0,8,0,0,0,0,0-0-0,|14||0-0-0  
 12,5,48,602,-442,10,8,0,3,0,8,-1,0,0,0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,6,8,2,4,0,0,22,0,0,0,-1--1--1,,1|(601,-291)|  
 1,7,8,5,100,0,0,22,0,0,0,-1--1--1,,1|(601,-390)|  
 11,8,48,601,-341,8,6,33,3,0,0,4,0,0,0  
 10,9,tasa de esporas depositadas,667,-341,58,20,40,3,0,8,-1,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,10,12,3,4,0,0,22,0,0,0,-1--1--1,,1|(605,-10)|  
 1,11,12,2,100,0,0,22,0,0,0,-1--1--1,,1|(605,-128)|  
 11,12,652,605,-64,8,6,33,3,0,0,4,0,0,0  
 10,13,tasa de germinacion,659,-64,46,20,40,3,0,8,-1,0,0,0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,14,16,4,4,0,0,22,0,0,0,-1--1--1,,1|(861,62)|  
 1,15,16,3,100,0,0,22,0,0,0,-1--1--1,,1|(732,62)|  
 11,16,684,801,62,8,6,34,3,0,0,1,0,0,0  
 10,17,Tasa infeccion,801,79,55,11,40,131,0,8,0,0,0,0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,18,19,4,100,0,0,22,0,0,0,-1--1--1,,1|(977,121)|  
 11,19,732,977,151,8,6,33,3,0,0,4,0,0,0  
 10,20,Tasa lesiones infecciosas,1036,151,51,20,40,3,0,8,-1,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 12,21,48,302,-233,10,8,0,3,0,8,-1,0,0,0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,22,24,21,4,0,0,22,0,0,0,-1--1--1,,1|(375,-228)|  
 1,23,24,2,100,0,0,22,0,0,0,-1--1--1,,1|(500,-228)|  
 11,24,48,444,-228,6,8,34,3,0,0,1,0,0,0  
 10,25,mortalidad esporas depositadas,444,-200,71,20,40,131,0,8,-1,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 12,26,48,298,63,10,8,0,3,0,8,-1,0,0,0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,27,29,26,4,0,0,22,0,0,0,-1--1--1,,1|(372,60)|  
 1,28,29,3,100,0,0,22,0,0,0,-1--1--1,,1|(501,60)|  
 11,29,48,442,60,6,8,34,3,0,0,1,0,0,0  
 10,30,mortalidad esporas germinadas,442,88,71,20,40,131,0,8,-1,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 12,31,48,1254,59,10,8,0,3,0,8,-1,0,0,0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,32,34,31,4,0,0,22,0,0,0,-1--1--1,,1|(1185,62)|  
 1,33,34,4,100,0,0,22,0,0,0,-1--1--1,,1|(1064,62)|  
 11,34,48,1120,62,6,8,34,3,0,0,1,0,0,0  
 10,35,Mortalidad infección latente,1120,90,62,20,40,3,0,8,-1,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 10,36,PERIODO GERMINACION,331,-448,67,20,8,131,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,37,2,13,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(666,-173)|



10,38, TIEMPO PARA INFECTAR COLONIZAR, 686,215,64,30,8,131,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,39,38,17,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(779,185)|  
 1,40,3,17,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(701,121)|  
 1,41,3,30,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(521,111)|  
 1,42,2,25,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(521,-174)|  
 10,43, PERIODO DE LATENCIA, 1263,207,57,20,8,131,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 10,44, FRACC MORT INFEC LAT, 1167,169,61,20,8,3,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,45,44,20,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(1104,163)|  
 1,46,43,20,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(1095,195)|  
 1,47,4,35,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(1066,101)|  
 1,48,4,20,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(1023,143)|  
 10,49, Lesiones Infecciosas, 977,264,52,29,3,131,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 10,50, Lesiones No Infecciosas, 984,522,54,32,3,131,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,51,53,50,4,0,0,22,0,0,0,-1--1--1,,1|(981,443)|  
 1,52,53,49,100,0,0,22,0,0,0,-1--1--1,,1|(981,339)|  
 11,53,1084,981,391,8,6,33,3,0,0,4,0,0,0  
 10,54, Envejecimiento lesiones, 1048,391,59,20,40,3,0,8,-1,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,55,49,54,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(1045,285)|  
 10,56, PERIODO INFECCIOSO, 1225,411,56,20,8,3,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,57,56,54,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(1131,424)|  
 10,58, Fraccion esporas, 298,-397,33,20,8,3,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 10,59, Esporas, 448,-382,31,11,8,3,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,60,58,59,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(366,-370)|  
 1,61,1,59,1,0,0,0,0,0,0,-1--1--1,,1|(472,-298)|  
 10,62, Produccion Esporas, 747,-420,44,20,8,3,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 10,63, Fraccion de esporas interceptadas, 848,-374,75,20,8,3,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 10,64, Tiempo, 1593,-460,30,11,8,3,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 10,65, "F-Siembra", 1496,-512,40,11,8,3,0,8,-1,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,66,65,64,1,0,0,0,0,0,0,-1--1--1,,1|(1561,-495)|  
 10,67, Time, 1637,-530,31,11,8,2,0,11,-1,0,0,0,128-128-128,0-0-0,|14||128-128-128  
 1,68,67,64,1,0,0,0,0,0,0,-1--1--1,,1|(1617,-480)|  
 10,69, Tabla Biomasa hojas, 1371,-402,57,20,8,3,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 10,70, AFE, 1661,-3,26,11,8,3,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 10,71, laf, 1637,-211,19,11,8,3,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0

1,72,70,71,1,0,0,0,0,0,0,-1--1--1,,1|(1671,-92)|  
 10,73,BIOMASA,1673,-392,56,30,3,131,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,74,73,71,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(1595,-276)|  
 10,75,Biomasa retraso,1900,-501,33,20,8,3,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,76,73,75,1,0,0,0,0,0,0,-1--1--1,,1|(1774,-472)|  
 10,77,Senescencia hoja,2004,-351,46,20,8,3,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,78,73,77,1,0,0,0,0,0,0,-1--1--1,,1|(1806,-275)|  
 1,79,75,77,0,0,0,0,0,0,0,-1--1--1,,1|(1947,-431)|  
 10,80,Tasa Senescencia de hojas,1767,-214,67,20,8,3,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0-0,|14||0-0-0  
 1,81,73,80,1,0,0,0,0,0,0,-1--1--1,,1|(1698,-288)|  
 1,82,77,80,1,0,0,0,0,0,0,-1--1--1,,1|(1946,-206)|  
 10,83,Biomasa total,1875,-46,51,11,8,3,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,84,83,80,1,0,0,0,0,0,0,-1--1--1,,1|(1781,-206)|  
 12,85,48,1265,508,10,8,0,3,0,8,-1,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,86,88,85,4,0,0,22,0,0,0,-1--1--1,,1|(1216,514)|  
 1,87,88,50,100,0,0,22,0,0,0,-1--1--1,,1|(1102,514)|  
 11,88,48,1172,514,6,8,34,3,0,0,1,0,0,0  
 10,89,Tasa mortalidad lesiones no infecciosas,1172,542,85,20,40,3,0,8,-1,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,90,50,89,0,0,0,0,0,0,0,-1--1--1,,1|(1055,528)|  
 1,91,62,9,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(684,-396)|  
 1,92,63,9,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(750,-358)|  
 1,93,59,8,1,0,0,0,0,0,0,-1--1--1,,1|(532,-334)|  
 12,94,48,1463,-403,10,8,0,3,0,8,-1,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,95,97,73,4,0,0,22,0,0,0,-1--1--1,,1|(1583,-403)|  
 1,96,97,94,100,0,0,22,0,0,0,-1--1--1,,1|(1505,-403)|  
 11,97,48,1544,-403,6,8,34,3,0,0,1,0,0,0  
 10,98,Incremento biomasa,1544,-375,44,20,40,3,0,8,-1,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,99,69,97,1,0,0,0,0,0,0,-1--1--1,,1|(1491,-433)|  
 1,100,64,97,1,0,0,0,0,0,0,-1--1--1,,1|(1552,-430)|  
 10,101,Tabla mortalidad temp,240,-172,62,20,8,3,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 10,102,Mort relativa temp,300,-110,69,11,0,3,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,103,101,102,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(271,-132)|  
 10,104,Tabla mortalidad HR,123,36,56,20,8,3,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 10,105,Mort relativa HR,446,7,64,11,0,3,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,106,104,105,0,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(273,22)|  
 10,107,MortRelEspDep,505,-98,62,10,8,3,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,108,102,107,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(382,-79)|  
 1,109,105,107,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(456,-76)|  
 1,110,107,25,1,0,0,0,0,0,0,-1--1--1,,1|(483,-113)|

10,111,Tabla HR esp,310,-284,52,11,8,3,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,112,111,58,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(335,-362)|  
 10,113,hr,216,-363,10,11,8,3,0,8,-1,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 10,114,AREA POR LESION,1267,-53,47,20,8,3,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 10,115,No máximo sitios infecciosos,971,-46,62,20,8,3,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,116,114,115,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(1187,-36)|  
 1,117,71,115,1,0,0,2,2,0,0,-1--1--1,|12||0-0-0,1|(1362,-181)|  
 1,118,20,49,0,0,0,0,0,0,0,-1--1--1,,1|(1012,196)|  
 1,119,19,49,4,0,0,22,0,0,0,-1--1--1,,1|(977,196)|  
 10,120,Tasa Senescencia de hojas,1391,502,72,20,8,2,0,11,-1,0,0,0,128-128-128,0-0-0,|14||128-128-128  
 1,121,120,88,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(1237,447)|  
 10,122,Lesiones Infecciosas,596,-542,48,20,8,2,0,11,-1,0,0,0,128-128-128,0-0-0,|14||128-128-128  
 10,123,sitios totales ocupados,625,351,46,20,8,3,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,124,4,123,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(807,257)|  
 1,125,49,123,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(827,330)|  
 10,126,Seve,1367,-105,52,52,6,3,1,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 10,127,fraccion tejido enfermo,798,-242,55,20,8,3,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,128,115,127,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(905,-156)|  
 10,129,hr,321,-63,20,11,8,2,1,11,-1,0,0,0,128-128-128,0-0-0,|14||128-128-128  
 1,130,129,105,1,1,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(397,-71)|  
 1,131,127,9,1,0,0,0,0,0,0,-1--1--1,,1|(732,-288)|  
 10,132,laf,533,-427,29,11,8,2,0,11,-1,0,0,0,128-128-128,0-0-0,|14||128-128-128  
 1,133,132,59,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(475,-432)|  
 1,134,44,35,1,0,0,0,0,0,0,-1--1--1,,1|(1160,126)|  
 12,135,48,1256,249,10,8,0,3,0,8,-1,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,136,138,135,4,0,0,22,0,0,0,-1--1--1,,1|(1205,249)|  
 1,137,138,49,100,0,0,22,0,0,0,-1--1--1,,1|(1090,249)|  
 11,138,48,1158,249,6,8,34,3,0,0,1,0,0,0  
 10,139,Mortalidad lesiones infecciosas,1158,277,73,20,40,3,0,8,-1,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,140,49,139,0,0,0,0,0,0,0,-1--1--1,,1|(1050,268)|  
 10,141,TABLA PERIODO LATENCIA,1442,214,75,20,8,3,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,142,141,43,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(1382,253)|  
 10,143,FRACCION MORTALIDAD ESPORAS GERMINADAS,394,253,106,30,8,3,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 1,144,143,30,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(343,147)|

10,145,AJUSTE,851,147,35,11,8,3,1,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
10,146,CTE LES,1249,9,38,11,8,3,0,8,-1,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
1,147,146,115,1,0,0,0,0,0,0,-1--1--1,,1|(1126,7)|  
10,148,sev,1039,-399,14,11,8,3,17,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
10,149,SEVERIDAD ROYA,1247,-547,63,63,6,131,0,12,0,0,0,0,0-0-0,255-0-0,|14||0-0-0  
1,150,126,149,0,1,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(1310,-313)|  
1,151,148,149,0,17,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(1118,-454)|  
1,152,71,126,0,1,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(1523,-166)|  
1,153,115,126,1,1,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(1151,-102)|  
10,154,Time,2155,-222,31,11,8,2,1,11,-1,0,0,0,128-128-128,0-0-0,|14||128-128-128  
1,155,64,148,1,17,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(1274,-468)|  
1,156,64,149,0,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(1442,-497)|  
1,157,71,148,0,17,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(1342,-302)|  
1,158,115,148,0,17,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(1003,-220)|  
1,159,123,148,0,17,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(830,-22)|  
1,160,122,62,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(674,-487)|  
10,161,T Germinacion,766,-185,57,11,8,3,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
10,162,Funcion germinacion,741,-101,46,20,8,3,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
1,163,161,162,0,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(756,-154)|  
1,164,162,13,0,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(706,-85)|  
1,165,107,13,0,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(574,-82)|  
10,166,TMIN,839,-116,31,11,8,2,0,3,-1,0,0,0,128-128-128,0-0-0,|12||128-128-128  
1,167,166,162,0,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(804,-111)|  
10,168,TMIN,226,-62,31,11,8,2,0,3,-1,0,0,0,128-128-128,0-0-0,|12||128-128-128  
1,169,168,102,0,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(256,-82)|  
10,170,sitios totales ocupados,1439,-18,44,19,8,2,1,3,-1,0,0,0,128-128-128,0-0-0,|12||128-128-128  
1,171,170,126,1,1,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(1414,-75)|  
10,172,sitios totales ocupados,929,-278,44,19,8,2,0,3,-1,0,0,0,128-128-128,0-0-0,|12||128-128-128  
1,173,172,127,0,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(875,-263)|  
10,174,Tmed,1385,144,29,11,8,2,0,3,-1,0,0,0,128-128-128,0-0-0,|12||128-128-128  
1,175,174,43,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(1325,151)|  
1,176,71,9,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(1177,-323)|  
1,177,149,17,0,1,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(1013,-219)|  
10,178,TABLA PERIODO LATENCIA 0,1422,416,75,20,8,3,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
1,179,178,56,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(1309,374)|  
10,180,Tmed,1225,450,29,11,8,2,0,3,-1,0,0,0,128-128-128,0-0-0,|12||128-128-128

1,181,180,56,0,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(1225,442)|  
 10,182,TABLA Prod esporas,922,-424,53,20,8,3,0,8,0,0,0,0,0-0-0,0-0-0,|14||0-0-0  
 10,183,Espo producidas,833,-494,53,11,8,3,0,0,0,0,0,0,0  
 1,184,182,183,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(852,-433)|  
 10,185,Tmed,967,-518,20,11,8,3,0,0,-1,0,0,0  
 1,186,185,183,0,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(923,-510)|  
 1,187,183,62,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(725,-480)|  
 10,188,TMAX,1084,-566,34,11,8,2,0,3,-1,0,0,0,128-128-128,0-0-0,|12||128-128-  
 128  
 1,189,188,185,0,0,0,0,0,0,0,-1--1--1,,1|(1028,-543)|  
 10,190,TMIN,920,-570,31,11,8,2,0,3,-1,0,0,0,128-128-128,0-0-0,|12||128-128-128  
 1,191,190,185,0,0,0,0,0,0,0,-1--1--1,,1|(938,-549)|  
 1,192,113,58,0,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(239,-372)|  
 10,193,hr,710,-15,17,11,8,2,0,3,-1,0,0,0,128-128-128,0-0-0,|12||128-128-128  
 1,194,193,13,0,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(694,-30)|  
 1,195,50,123,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(671,456)|  
 1,196,71,127,0,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(1242,-224)|  
 10,197,FRACC MORT INFEC LAT,1143,325,58,19,8,2,0,3,-1,0,0,0,128-128-128,0-  
 0-0,|12||128-128-128  
 1,198,197,139,0,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(1147,308)|

## 2.6 Variables alimentadas externamente al modelo:

Estas variables se incluyen en un archivo con formato .vdf (vensim data format), el cual se elabora a partir de un archivo de hoja de cálculo.

Rain (Precipitación diaria)	mm
Tmax (Temperatura máxima diaria)	°C
Tmin (Temperatura mínima diaria)	°C

## 2.7 Constantes de control de la simulación:

FINAL TIME = 365	Día juliano
~	Tiempo de finalización de la simulación.
INITIAL TIME = 0	Día Juliano
~	Tiempo de inicio de la simulación
SAVEPER = 1	Días
~	Frecuencia con la cual se almacenan las salidas del modelo.
TIME STEP = 1	Días
~	Paso de tiempo de la simulación (dt)

### **3. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA FUNCIONALIDAD DEL MODELO.**

En el modelo la infección está determinada por las esporas iniciales, la disponibilidad de superficie foliar sana y el clima durante el ciclo del cultivo. El clima afectará las etapas de vida de la espora, lo cual determinará la mortalidad de estas y por ende la sobrevivencia de las mismas. El modelo de la epidemia involucra los factores físicos, biológicos y de cultivo de la siguiente manera.

**Factores Físicos:** Temperatura, que es uno de los principales factores que afectan todas las etapas de vida del hongo. Las tasas de mortalidad de espora, lesiones, duración del periodo de Latencia, periodo de infección, los cuales son afectados por variables climáticas como temperatura, rocío, y humedad relativa.

**Factores Biológicos.** Los relacionados con el agente causal de la enfermedad como, tamaño de lesión, producción de esporas, en general conocimiento del ciclo completo del hongo, su relación con el clima y el cultivo. El desarrollo de la enfermedad presenta un crecimiento exponencial logístico. El establecimiento de la enfermedad se origina por inóculo transportado de otras zonas. Se asume que solo el 1% de las esporas producidas llegan a generar una lesión.

**Factores del Cultivo.** Etapa fonológica susceptible, parte de la planta que afecta así como la disponibilidad de tejido para infección durante el ciclo. El aumento en biomasa del cultivo afectará los sitios vacantes para infección. Por conveniencia los sitios infectados se dividirán en tres que son Sitios latentes, sitios infecciosos, y sitios no infecciosos. Cuanta más superficie se enferme menos será la probabilidad de que una espora puede ser depositada en tejido sano.

El Modelo está construido en la plataforma Vensim versión 5.6d. El programa o algoritmo computacional consiste en un sistema de ecuaciones de integración numérica, resuelto mediante el método de integración de Euler. Este modelo calcula de manera diaria, el crecimiento de la enfermedad la cual es causada por el hongo *Phakopsora pachyrizi*. El modelo inicia los cálculos a partir de una población de esporas que el usuario define. Se asume que la enfermedad se establecerá en una superficie de una hectárea de cultivo y se asume que el cultivo es susceptible a la enfermedad. Para su funcionamiento, el modelo requiere ser alimentado con datos diarios de las variables meteorológicas Humedad relativa máxima, Temperatura máxima, Temperatura mínima y Precipitación. Estas variables se incluyen en un archivo de datos con formato .vdf (Vensim data format), que es externo al modelo y se puede cambiar para representar condiciones correspondientes a diferentes años o localidades.

El archivo externo se prepara a partir de datos en formato de texto o de hoja de cálculo. Este modelo considera como determinante la germinación de esporas y está determinada por la temperatura y humedad del ambiente, Las tasa subsecuentes son de igual manera afectadas por la temperatura y la humedad. La innovación consiste en que la producción y deposición de esporas son una función de la humedad del ambiente, la información que genera el modelo puede

ayudar a evaluar distintos ambientes y con ello inferir acerca de la expresión que puede tener la enfermedad en un periodo dado.

#### **4. DATOS INICIALES.**

Las constantes que se pueden cambiar en el modelo para evaluar su efecto en el comportamiento de las poblaciones del insecto, así como sus valores iniciales se muestran a continuación:

AFE= 0.0015

AJUSTE= 1

Biomasa total= 1900

CTE LES= 1

"F-Siembra"= 135

FINAL TIME = 250

FRACC MORT INFEC LAT= 0.01

FRACCCION MORTALIDAD ESPORAS GERMINADAS= 0.4

Fracción de esporas interceptadas= 0.03

INITIAL TIME= 0

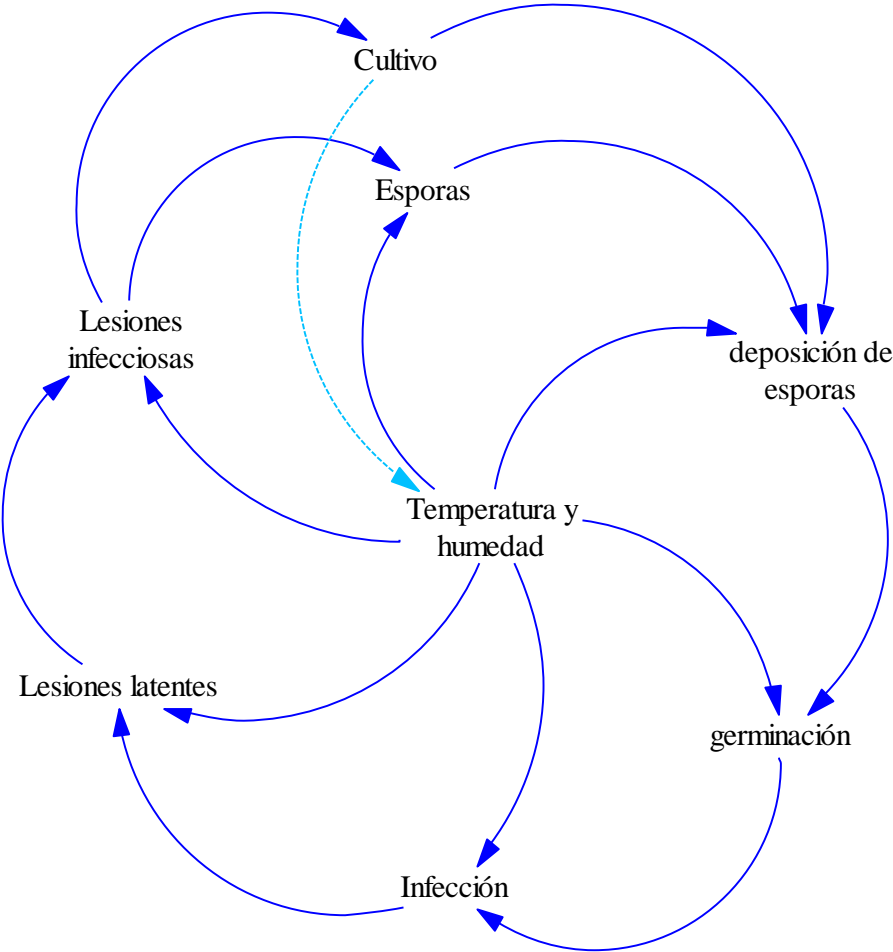
PERIODO GERMINACION= 2

TIEMPO PARA INFECTAR COLONIZAR= 2

TIME STEP = 1

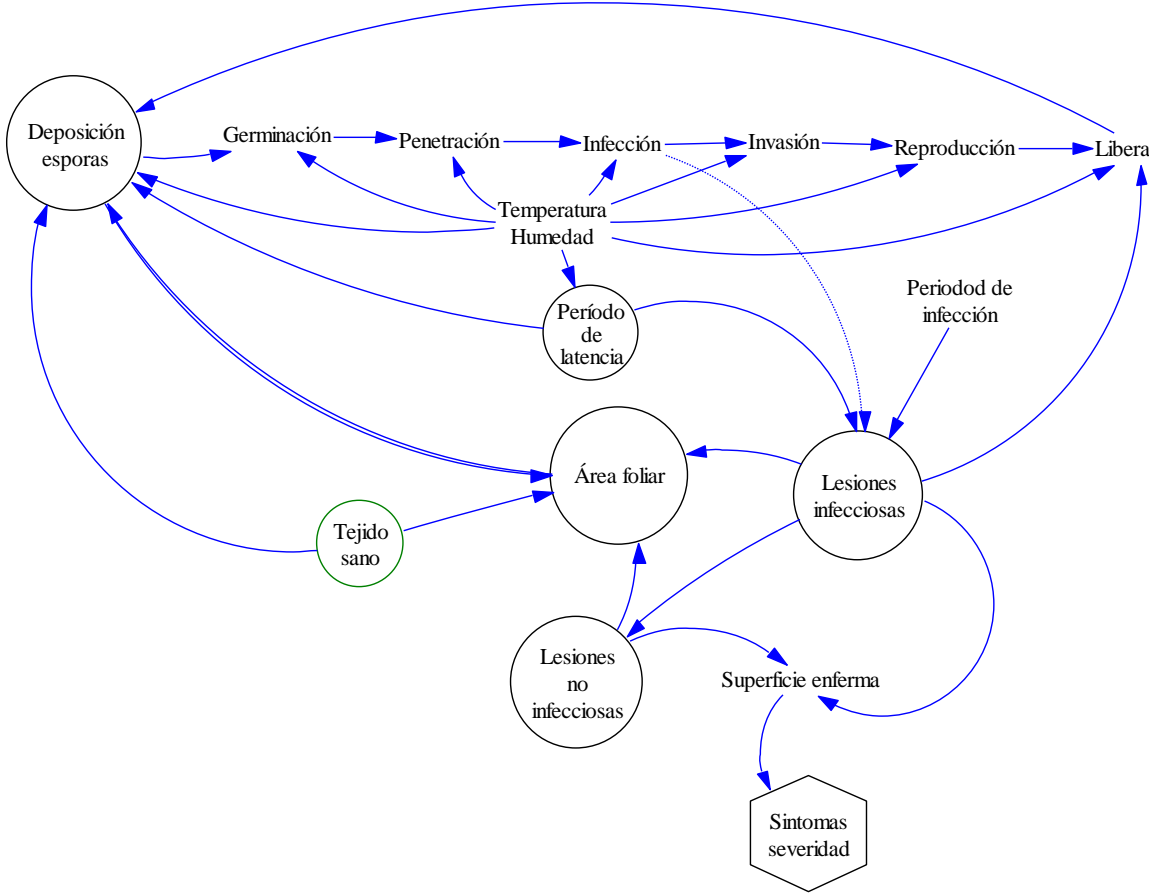
**5. DIAGRAMAS UTILIZADOS EN EL DISEÑO DEL MODELO.**

**5.1 Diagrama causal.**



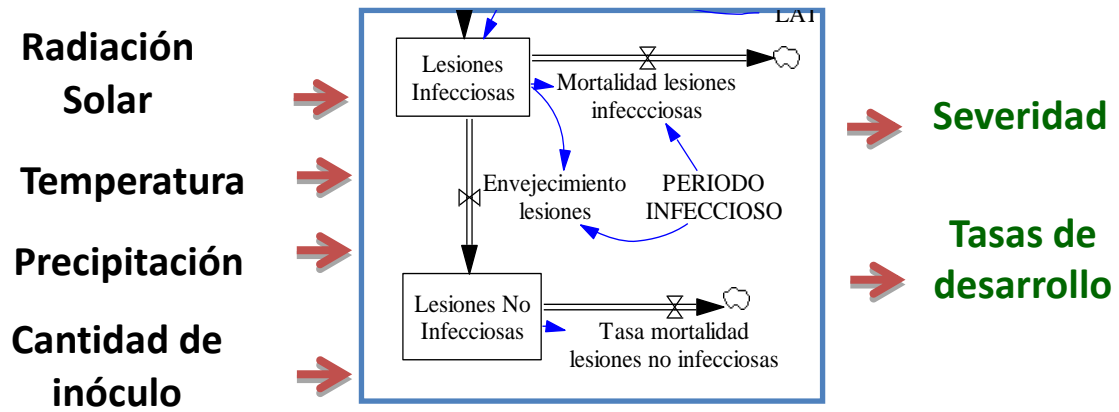


**5.2 Diagrama de flujo de la epidemia de roya asiática.**



## 5.5 Diagrama de caso general de uso.

### Entradas y salidas del modelo



## Anexo 2. Documentación del modelo.

### Documentation of RAS\_EPIDEMIA

View the 66 variables sorted by module, group, variable name, module/group/name, view, Level Structure, or in a view summary.

#### Model Assessment Results

Model Information	Number
Total Number of Variables	66
Total Number of State Variables (Level+Smooth+Delay Variables)	8
Total Number of Stocks (Stocks in Level+Smooth+Delay Variables) †	8
Total Number of Macros	0
Function Sensitivity Parameters	0
Variables with Source Information	0
Data Lookup Tables	0
Time Unit	day
Initial Time	0
Final Time	365
Reported Time Interval	TIME STEP
Time Step	1
Model Is Fully Formulated	Yes
Modeler-Defined Groups	- No -
VPM File Available	Yes

Warnings	Number
Undocumented Equations	46
Equations with Embedded Data	22
Equations With Unit Errors or Warnings	Unavailable
Variables Not in Any View	0
Incompletely Defined Subscripted Variables	0
Nonmonotonic Lookup Functions	4
Cascading (Chained) Lookup Functions	0
Equations with IF...THEN...ELSE	10
Equations with MIN or MAX	0

Potential Omissions	Number
Unused Variables	2
Supplementary Variables	0
Supplementary Variables Being Used	0
Complex Variable Formulations (Richardson's Rule = 3)	3
Complex Stock Formulations	2

<b>Types:</b>	<b>L</b> : Level (7 / 7) *	<b>SM</b> : Smooth (0 / 0) *	DE : Delay (1 / 1) * †	<b>LI</b> : Level Initial (0)	<b>I</b> : Initial (0)
	<b>C</b> : Constant (13)	<b>F</b> : Flow (10)	A : Auxiliary (34)	[sub] <b>Sub</b> : Subscripts (0)	<b>D</b> : Data (3)
	<b>G</b> : Game (0)	<b>T</b> : Lookup (8 / 8) ††			





\* (state variables / **total stocks**)





† Total stocks do not include fixed delay variables.

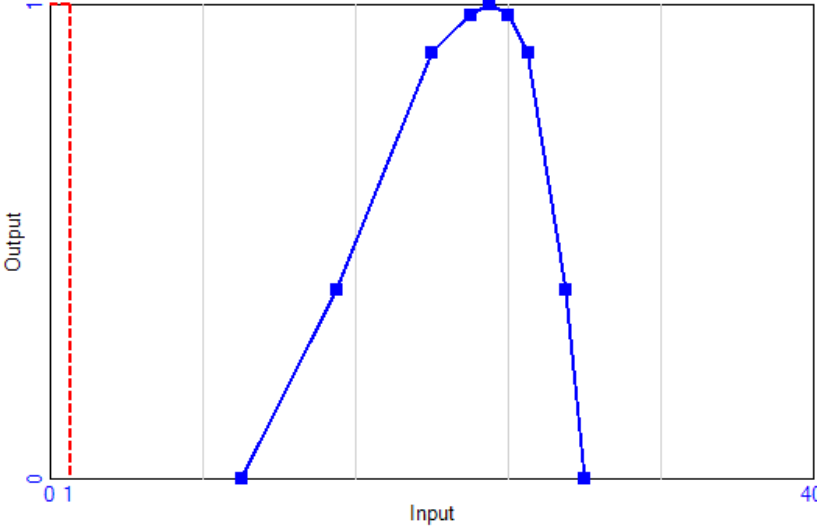

†† (lookup variables / **lookup tables**).

<b>Groups:</b>	<b>Control</b> (4) Simulation Control Parameters	<b>RAS EPIDEMIA</b> (62) (Default)	
	<b>Modules:</b>	<b>Default</b> (66)	
<b>Views:</b>	<b>Principal</b> (0)	<b>Roya asiática</b> (76)	

Module	Group	Type	Variable Name and Descripción
Default	RAS EPIDEMIA A (Default)	DE	<b>Biomasa retraso</b> (kg/ha) = DELAY FIXED(BIOMASA,0,0 ) Present in 1 view: Roya asiática Used by: <ul style="list-style-type: none"><li>Senescencia hoja</li></ul>
Default	RAS EPIDEMIA A (Default)	D	<b>hr</b> (porcentaje) <b>Present in 1 view:</b> Roya asiática Used by: Fracción esporas Mort relativa HR <ul style="list-style-type: none"><li>tasa de germinación</li></ul>
Default	RAS EPIDEMIA A (Default)	D	<b>TMAX</b> <b>Present in 1 view:</b> Roya asiática <b>Used by:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Tmed</li></ul>
Default	RAS EPIDEMIA A (Default)	D	<b>TMIN (DIMENSIONLESS)</b> <b>Present in 1 view:</b> Roya asiática Used by: Funcion germinación - Marchetti, M. A., Melching, J. S., and Bromfield, K. R. 1976. The effectsof temperature and dew period on germination and infection by uredosporesof <i>Phakopsora pachyrhizi</i> . Phytopathology 66:461-463. Mort relativa temp

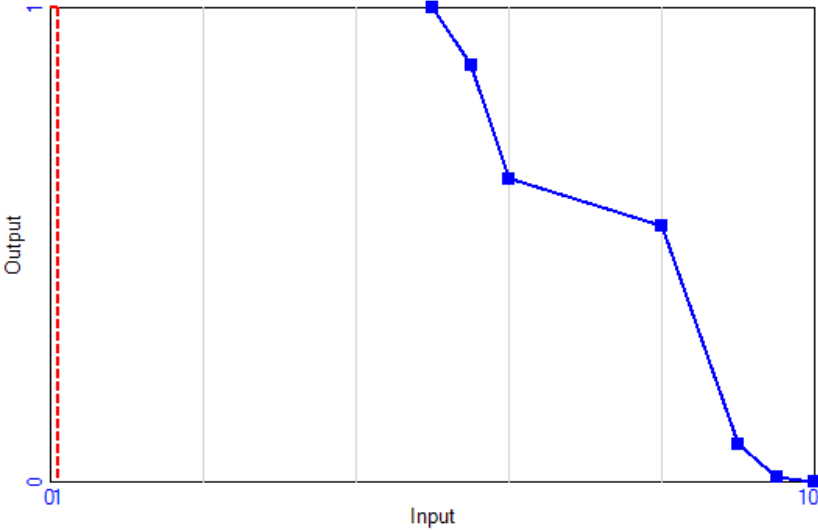

			<ul style="list-style-type: none"> <li>Tmed</li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	L 	<p><b>Esporas Depositadas</b> (esporas/ha)</p> $= \int \text{tasa de germinación-mortalidad esporas germinadas-Tasa infección dt} + [0]$ <p>Present in 1 view: Roya asiática Used by: mortalidad esporas germinadas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tasa infeccion - Infec Latente*(1-FRACC MORT INFEC LAT)/TIEMPO INFEC LAT Esporas Germinadas*(1-fraccion tejido enfermo)/TIEMPO PARA INFECTAR COLONIZAR</li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	L 	<p><b>Esporas Germinadas</b> (esporas/ha)</p> $= \int \text{tasa de germinación-mortalidad esporas germinadas-Tasa infección dt} + [0]$ <p>Present in 1 view: Roya asiática Used by: mortalidad esporas germinadas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tasa infeccion - Infec Latente*(1-FRACC MORT INFEC LAT)/TIEMPO INFEC LAT Esporas Germinadas*(1-fraccion tejido enfermo)/TIEMPO PARA INFECTAR COLONIZAR</li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	L 	<p><b>Infecciones Latentes</b> (Lesiones/ha)</p> $= \int \text{Tasa infección-Mortalidad infección latente-Tasa lesiones infecciosas dt} + [0]$ <p><b>Present in 1 view:</b> Roya asiática Used by: Mortalidad infección latente - (Infección Latente*FRACC MORT INFEC LAT)/PERIODO DE LATENCIA sitios totales ocupados - Infección Latente+Lesiones Infecciosas+Lesiones No Infecciosas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tasa lesiones infecciosas</li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	L 	<p><b>Lesiones Infecciosas</b> (Lesiones/ha)</p> $= \int \text{Tasa lesiones infecciosas-Envejecimiento lesiones-Mortalidad lesiones infecciosas dt} + [0]$ <p>Present in 1 view: Roya asiática Used by: Envejecimiento lesiones Mortalidad lesiones infecciosas - Lesiones Infecciosas*(Tasa Senescencia de hojas/PERIODO INFECCIOSO)</p>

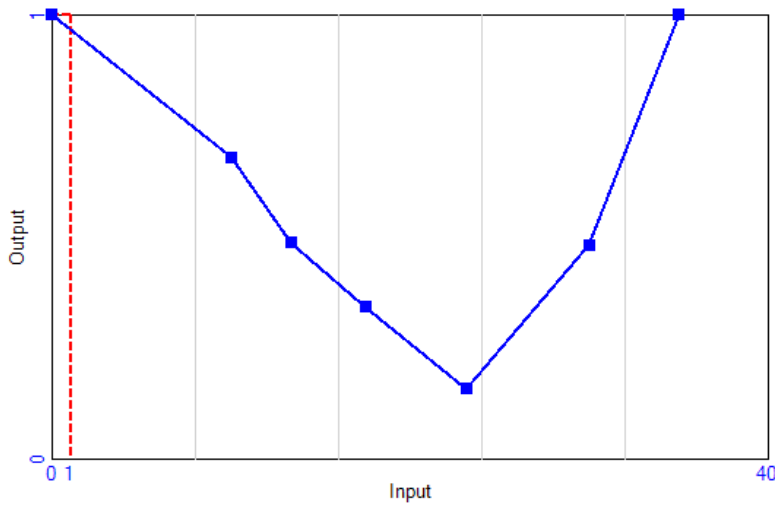


			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción Esporas - Numero de lesiones hijas por lesiones madre. Yeh, C. C., Sinclair, J. B., and Tschanz, A. T. 1982. <i>Phakopsora pachyrhizi</i>: Uredial development uredospore production and factors affecting teliospore formation on soybeans. Aust. J. Agric. Res. 33:25-32. (420)</li> <li>• sitios totales ocupados - Infeccion Latente+Lesiones Infecciosas+Lesiones No Infecciosas</li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	L 	<p><b>Lesiones No Infecciosas</b> (Lesiones/ha)</p> $= \int \text{Envejecimiento lesiones-Tasa mortalidad lesiones no infecciosas dt} + [0]$ <p>Present in 1 view: Roya asiática Used by: sitios totales ocupados - Infección Latente+Lesiones Infecciosas+Lesiones No Infecciosas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tasa mortalidad lesiones no infecciosas</li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	L 	<p><b>sev</b></p> $= \int \text{IF THEN ELSE(Tiempo=69,IF THEN ELSE(Iaf>0,sitios totales ocupados/No máximo sitios infecciosos,0)*100,0)} dt + [0]$ <p>Present in 1 view:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Roya asiática</li> </ul> <p><b>Used by:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• SEVERIDAD ROYA</li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	L 	<p><b>Tiempo</b> (day)</p> $= \int \text{IF THEN ELSE( F-Siembra<Time,1,0)} dt + [0]$ <p><b>Present in 1 view:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Roya asiatica</li> </ul> <p><b>Used by:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento biomasa</li> <li>• sev</li> <li>• SEVERIDAD ROYA</li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	L 	<p><b>T Germinacion</b></p> $= [(0,0)-(40,1)],(10,0),(15,0.4),(20,0.9),(22,0.98),(23,1),(24,0.98),(25,0.9),(27,0.4),(28,0)$ <p><b>Description:</b> Marchetti, M. A., Melching, J. S., and Bromfield, K. R. 1976. The effects of temperature and dew period on germination and infection by uredospores of <i>Phakopsora pachyrhizi</i>. <i>Phytopathology</i> 66:461-463.</p> <p><b>Present in 1 view:</b></p>

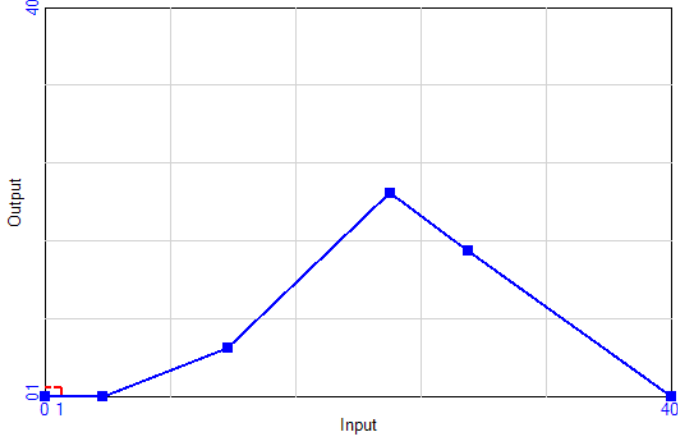

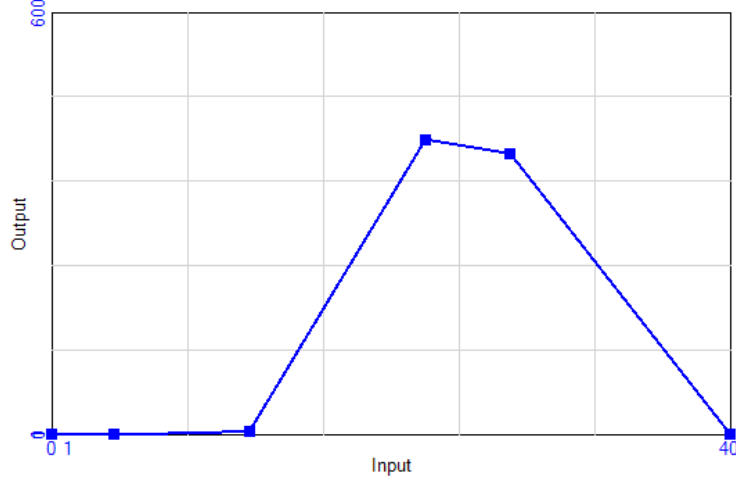
			<ul style="list-style-type: none"> <li>Roya asiatica</li> </ul> <p><b>Used by:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Funcion germinación - Marchetti, M. A., Melching, J. S., and Bromfield, K. R. 1976. The effects of temperature and dew period on germination and infection by uredospores of <i>Phakopsora pachyrhizi</i>. Phytopathology 66:461-463.</li> </ul> 
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	L 	<p><b>Tabla Biomasa hojas (kg/ha)</b> = [(0,0)- (200,2000)],(0,0),(5,43.8596),(20,192.982),(30,517.544),(40,929.825),(45.8716, 1114.04),(50.1529,1228.07),(55,1315.79),(62.3853,1429.82),(71.5596,1622.81), (84.4037,1771.93),(94.1896,1868.42),(110,1929.82),(114.373,1938.6),(127.829, 1973.68)</p> <p><b>Present in 1 view:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Roya asiática</li> </ul> <p><b>Used by:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Incremento biomasa</li> </ul>




Default	RAS EPIDEMI A (Default)	L 	<p><b>Tabla HR esp (Dmnl)</b>  = [(40,0)-(100,1)],(50,0),(55,0.001),(68.4404,0.003947),(80,0.01),(90,0.25),(95,0.5),(100,0.8)</p> <p><b>Present in 1 view:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Roya asiática</li> </ul> <p><b>Used by:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fracción esporas</li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	L 	<p><b>Tabla mortalidad HR (1/day)</b>  = [(0,0)-(100,1)],(50,1),(55,0.88),(60,0.64),(80,0.54),(90,0.08),(95,0.01),(100,0)</p> <p><b>Present in 1 view:</b></p>














			<ul style="list-style-type: none"> <li>Roya asiática</li> </ul> <p><b>Used by:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Mort relativa HR</li> </ul> 
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	L 	<p><b>Tabla mortalidad temp (1/day)</b>  = [(0,0)-  (40,1)],(0,1),(10,0.68),(13.3333,0.486842),(17.4924,0.342105),(23.1193,0.1578  95),(29.9694,0.482456),(35,1)</p> <p><b>Present in 1 view:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Roya asiática</li> </ul> <p><b>Used by:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Mort relativa temp</li> </ul>
















			
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	L 	<p><b>TABLA PERIODO LATENCIA (day)</b>  = [(0,0)-(40,40)],(0,33.6842),(3.66972,25.0877),(11.6208,14.5614),(15.4,13),(27,5),(40,0)</p> <p><b>Description:</b> <i>Kitani, 1960</i>  <b>Present in 1 view:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Roya asiática</li> </ul> <p><b>Used by:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• PERIODO DE LATENCIA</li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	L 	<p><b>TABLA PERIODO LATENCIA 0 (day)</b>  = [(0,0)-(40,40)],(0,0),(3.66972,0),(11.6208,5),(22,21),(27,15),(40,0)</p> <p><b>Description:</b> <i>Kitani, 1960</i>  <b>Present in 1 view:</b></p>







			<ul style="list-style-type: none"> <li>Roya asiática</li> </ul> <p><b>Used by:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>PERIODO INFECCIOSO - Pivonia y Yang, 2006</li> </ul> 
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	L 	<p><b>TABLA Prod esporas (day)</b>  <math>= [(0,0)-(40,600)],(0,0),(3.66972,0),(11.6208,5),(22,420),(27,400),(40,0)</math>  <b>Description:</b> <i>Kitani, 1960</i>  <b>Present in 1 view:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Roya asiática</li> </ul> <p><b>Used by:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Espo producidas</li> </ul> 
Default	RAS	C	<b>F-Siembra (day)</b>

	EPIDEMI A (Default)		= 135 <b>Present in 1 view:</b> Roya asiática Used by: <ul style="list-style-type: none"><li>• Tiempo</li></ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	C 	<b>AFE (ha/kg)</b> = 0.0015 <b>Description:</b> <i>Constante Area Foliar Especifica</i> <b>Present in 1 view:</b> Roya asiática Used by: <ul style="list-style-type: none"><li>• Iaf</li></ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	C 	<b>AJUSTE (day)</b> = 1 <b>Present in 1 view:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Roya asiática</li></ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	C 	<b>Biomasa total (kg/ha)</b> = 1900 <b>Present in 1 view:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Roya asiática</li></ul> <b>Used by:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Tasa Senescencia de hojas</li></ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	C 	<b>CTE LES (lesion/ha)</b> = 1 <b>Present in 1 view:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Roya asiática</li></ul> <b>Used by:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• No máximo sitios infecciosos</li></ul>
Default	Control	C 	<b>FINAL TIME (day)</b> = 365 <b>Description:</b> <i>The final time for the simulation.</i> <b>Not Present In Any View</b>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	C 	<b>FRACC MORT INFECLAT (Dmnl)</b> = 0.01 <b>Present in 1 view:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Roya asiática</li></ul>






			<p><b>Used by:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mortalidad infección latente - (Infección Latente*FRACC MORT INFEC LAT)/PERIODO DE LATENCIA</li> <li>• Mortalidad lesiones infecciosas - Lesiones Infecciosas*(Tasa Senescencia de hojas/PERIODO INFECCIOSO)</li> <li>• Tasa lesiones infecciosas</li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	C WAB	<p><b>FRACCION MORTALIDAD ESPORAS GERMINADAS (1/day)</b> = 0.4</p> <p><b>Present in 1 view:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Roya asiatica</li> </ul> <p><b>Used by:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• mortalidad esporas germinadas</li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	C WAB	<p><b>Fraccion de esporas interceptadas (Dmnl)</b> = 0.03</p> <p><b>Description:</b> <i>Se asume que no mas del 1% de las esporas produce una lesiónn (Rabbinge, 1989).</i></p> <p><b>Present in 1 view:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Roya asiática</li> </ul> <p><b>Used by:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• tasa de esporas depositadas</li> </ul>
Default	Control	C WAB	<p><b>INITIAL TIME (day)</b> = 0</p> <p><b>Description:</b> <i>The initial time for the simulation.</i></p> <p><b>Not Present In Any View</b></p> <p><b>Used by:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Time - Internally defined simulation time.</li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	C WAB	<p><b>PERIODO GERMINACION (day)</b> = 2</p> <p><b>Present in 1 view:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• • <b>Roya asiática</b></li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	C WAB	<p><b>TIEMPO PARA INFECTAR COLONIZAR (day)</b> = 2</p> <p><b>Present in 1 view:</b> <b>Roya asiática</b></p> <p><b>Used by:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Tasa infección - Infec Latente*(1-FRACC MORT INFEC LAT)/TIEMPO INFEC LAT Esporas Germinadas*(1-fraccion</b></li> </ul>







			tejido enfermo)/TIEMPO PARA INFECTAR COLONIZAR
Default	Control	C 	<b>TIME STEP (day [0,?])</b> = 1 <b>Description: The time step for the simulation.</b> <b>Not Present In Any View</b> <b>Used by:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• • SAVEPER - The frequency with which output is stored.</li></ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	F,A  	<b>Envejecimiento lesiones (Lesiones/(day*ha))</b> = Lesiones Infecciosas/PERIODO INFECCIOSO <b>Present in 1 view:</b> Roya asiática <b>Used by:</b> Lesiones Infecciosas <ul style="list-style-type: none"><li>• Lesiones No Infecciosas</li></ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	F,A  	<b>mortalidad esporas depositadas (esporas/(day*ha))</b> = Esporas Depositadas*MortRelEspDep <b>Present in 1 view:</b> Roya asiática <b>Used by:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Esporas Depositadas</li></ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	F,A  	<b>mortalidad esporas germinadas (esporas/(day*ha))</b> = Esporas Germinadas*FRACCCION MORTALIDAD ESPORAS GERMINADAS <b>Present in 1 view:</b> Roya asiática <b>Used by:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Esporas Germinadas</li></ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	F,A  	<b>Mortalidad infección latente (esporas/(day*ha))</b> = (Infecciones Latentes*FRACC MORT INFEC LAT) <b>Description: (Infección Latente*FRACC MORT INFEC LAT)/PERIODO DE LATENCIA</b> <b>Present in 1 view:</b> Roya asiática <b>Used by:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Infecciones Latentes</li></ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	F,A  	<b>Mor talidad lesiones infecciosas (Lesiones/(ha*day))</b> = Lesiones Infecciosas*FRACC MORT INFEC LAT <b>Description: Lesiones Infecciosas*(Tasa Senescencia de hojas/PERIODO INFECCIOSO)</b> <b>Present in 1 view:</b> Roya asiática <b>Used by:</b>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Lesiones Infecciosas</b></li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	F,A   	<b>tasa de esporas depositadas (esporas/(day*ha))</b> = IF THEN ELSE (Iaf>0,((Producción Esporas + Esporas)*Fracción de esporas interceptadas*(1-fraccion tejido enfermo)),0) <b>Present in 1 view:</b> Roya asiática Used by: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Esporas Depositadas</li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	F,A   	<b>tasa de germinación (esporas/(day*ha))</b> = IF THEN ELSE (hr>50,(Esporas Depositadas*(1-MortRelEspDep))*Función germinacion,0) <b>Present in 1 view:</b> Roya asiática Used by: Esporas Depositadas <ul style="list-style-type: none"> <li>• Esporas Germinadas</li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	F,A   	<b>Tasa infección (esporas/(day*ha))</b> = Esporas Germinadas*(1-SEVERIDAD ROYA/100)/TIEMPO PARA INFECTAR COLONIZAR Description: Infección Latente*(1-FRACC MORT INFECC LAT)/TIEMPO INFECC LAT Esporas Germinadas*(1-fraccion tejido enfermo)/TIEMPO PARA INFECTAR COLONIZAR <b>Present in 1 view:</b> Roya asiática Used by: Esporas Germinadas <ul style="list-style-type: none"> <li>• Infecciones Latentes</li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	F,A   	<b>Tasa lesiones infecciosas (esporas/(day*ha))</b> = Infecciones Latentes*(1-FRACC MORT INFECC LAT)/PERIODO DE LATENCIA <b>Present in 1 view:</b> Roya asiática Used by: Infecciones Latentes <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lesiones Infecciosas</li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	F,A   	<b>Tasa mortalidad lesiones no infecciosas (Lesiones/(ha*day))</b> = Lesiones No Infecciosas*Tasa Senescencia de hojas <b>Present in 1 view:</b> Roya asiática Used by: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lesiones No Infecciosas</li> </ul>
Default	RAS	A	<b>AREA POR LESION (ha/ha)</b>

	EPIDEMI A (Default)		= 3.5/1e+007 <b>Description:</b> <i>de 2 a 5 mm2 (Monte et al., 2003)</i> <b>Present in 1 view:</b> Roya asiática Used by: <ul style="list-style-type: none"><li>No mximo sitios infecciosos</li></ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	A 	<b>BIOMASA</b> (kg/ha) = Incremento biomasa <b>Present in 1 view:</b> Roya asiática Used by: Biomasa retraso Iaf Senescencia hoja <ul style="list-style-type: none"><li>Tasa Senescencia de hojas</li></ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	A 	<b>d ESPORAS</b> (esporas/ha/day) = <b>RANDOM NORMAL(0, 100, 100, 100, 100 )</b> <b>Description:</b> El número de esporas inicial para la enfermedad <b>RANDOM NORMAL(0, 10000, 500, 10000, 100 )</b> <b>Present in 1 view:</b> Roya asiática Used by: <ul style="list-style-type: none"><li>Esporas</li></ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	A 	<b>Espo producidas</b> = <b>TABLA Prod esporas(Tmed)</b> <b>Present in 1 view:</b> Roya asiática Used by: <ul style="list-style-type: none"><li><b>Produccion Esporas</b> - Numero de lesiones hijas por lesiones madre. Yeh, C. C., Sinclair, J. B., and Tschanz, A. T. 1982. <i>Phakopsora pachyrhizi</i>: Uredial development uredospore production and factors affecting teliospore formation on soybeans. Aust. J. Agric. Res. 33:25-32. (420)</li></ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	A 	<b>Esporas</b> (esporas/(day*ha)) = <b>IF THEN ELSE(Iaf=0,0,Fraccion esporas*d ESPORAS)</b> <b>Present in 1 view:</b> Roya asiática Used by: <ul style="list-style-type: none"><li>tasa de esporas depositadas</li></ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	A 	<b>Fracción esporas (Dmnl)</b> = <b>Tabla HR esp(hr)</b> <b>Present in 1 view:</b> Roya asiática



			<p>Used by:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Esporas</li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	A 	<p>fracción tejido enfermo (Dmnl) = IF THEN ELSE(Iaf=0,0,sitios totales ocupados/No máximo sitios infecciosos) Descripción: IF THEN ELSE(Iaf=0,0,sitios totales ocupados/No máximo sitios infecciosos) Present in 1 view: Roya asiática Used by:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• tasa de esporas depositadas</li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	A 	<p>Función germinación = T Germinación(TMIN ) Description: Marchetti, M. A., Melching, J. S., and Bromfield, K. R. 1976. The effect of temperature and dew period on germination and infection by uredospores of <i>Phakopsora pachyrhizi</i>. <i>Phytopathology</i> 66:461-463. Present in 1 view: Roya asiática Used by:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• tasa de germinación</li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	A 	<p>Iaf (ha/ha) = BIOMASA*AFE Present in 1 view: Roya asiática Used by: Esporas fracción tejido enfermo - IF THEN ELSE(Iaf=0,0,sitios totales ocupados/No máximo sitios infecciosos) No máximo sitios infecciosos sev Seve</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• tasa de esporas depositadas</li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	A 	<p>Incremento biomasa (kg/ha) = Tabla Biomasa hojas(Tiempo) Present in 1 view: Roya asiática Used by:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• BIOMASA</li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	A 	<p>Mort relativa HR (1/day) = Tabla mortalidad HR(hr) Present in 1 view: Roya asiática Used by:</p>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>MortRelEspDep</b></li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	A 	<b>Mort relativa temp (1/day)</b> = Tabla mortalidad temp(TMIN) <b>Present in 1 view:</b> Roya asiatica <b>Used by:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>MortRelEspDep</b></li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	A 	<b>MortRelEspDep (1/day)</b> = (Mort relativa HR*0.5)+(Mort relativa temp*0.5) <b>Present in 1 view:</b> Roya asiática <b>Used by:</b> mortalidad esporas depositadas <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>tasa de germinación</b></li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	A 	<b>No máximo sitios infecciosos (lesión/ha)</b> = Iaf/AREA POR LESION*CTE LES <b>Present in 1 view:</b> Roya asiática <b>Used by:</b> fracción tejido enfermo - IF THEN ELSE(Iaf=0,0,sitios totales ocupados/No máximo sitios infecciosos) sev <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Seve</b></li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	A 	<b>PERIODO DE LATENCIA (day)</b> = TABLA PERIODO LATENCIA(Tmed) <b>Present in 1 view:</b> Roya asiática <b>Used by:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Tasa lesiones infecciosas</b></li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	A 	<b>PERIODO INFECCIOSO (day)</b> = TABLA PERIODO LATENCIA 0(Tmed) <b>Description:</b> Pivonia y Yang, 2006 <b>Present in 1 view:</b> Roya asiática <b>Used by:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Envejecimiento lesiones</b></li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	A 	<b>Producción Esporas (esporas/lesion)</b> = Espo producidas*Lesiones Infecciosas <b>Description:</b> Numero de lesiones hijas por lesiones madre. Yeh, C. C., Sinclair, J. B., and Tschanz, A. T. 1982. <i>Phakopsora pachyrhizi</i> : Uredial development uredospore production and factors affecting teliospore

			<p>formation on soybeans. Aust. J. Agric. Res. 33:25-32. (420)</p> <p><b>Present in 1 view:</b>  <b>Roya asiática</b>  <b>Used by:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• • tasa de esporas depositadas</li> </ul>
Default	Control	A VAB	<p><b>SAVEPER (day [0,?])</b>  <b>= TIME STEP</b>  <b>Description: The frequency with which output is stored.</b>  <b>Not Present In Any View</b></p>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	A VAB	<p><b>Senescencia hoja (kg/ha)</b>  <b>= IF THEN ELSE(BIOMASA-Biomasa retraso&lt;0,0,BIOMASA-Biomasa retraso)</b>  <b>Present in 1 view:</b>  <b>Roya asiática</b>  <b>Used by:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tasa Senescencia de hojas</li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	A VAB	<p><b>Seve (porcentaje)</b>  <b>= IF THEN ELSE(Iaf&gt;0,sitios totales ocupados/No mximo sitios infecciosos,0)*100</b>  <b>Present in 1 view:</b>  <b>Roya asiática</b>  <b>Used by:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• SEVERIDAD ROYA</li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	A VAB	<p><b>SEVERIDAD ROYA</b>  <b>= IF THEN ELSE(Tiempo&lt;70,Seve,sev)</b>  <b>Present in 1 view:</b>  <b>Roya asiática</b>  <b>Used by:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tasa infección - Infec Latente*(1-FRACC MORT INFEC LAT)/TIEMPO INFEC LAT Esporas Germinadas*(1-fraccion tejido enfermo)/TIEMPO PARA INFECTAR COLONIZAR</li> </ul>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	A VAB	<p>sitios totales ocupados (lesión/ha)</p>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	A VAB	<p>= Infecciones Latentes+Lesiones Infecciosas+Lesiones No Infecciosas</p>
Default	RAS EPIDEMI A (Default)	A VAB	<p><b>Tmed</b>  <b>= (TMAX+TMIN)/2</b>  <b>Present in 1 view:</b>  <b>Roya asiática</b>  <b>Used by:</b>  <b>Espo producidas</b>  <b>PERIODO DE LATENCIA</b></p>

• **PERIODO INFECCIOSO - Pivonia y Yang, 2006**

List of 46 Undocumented Variables

Module	Group	Type	Variable (46)
Default	RAS EPIDEMIA	DE	Biomasa retraso (kg/ha)
Default	RAS EPIDEMIA	D	hr (porcentaje)
Default	RAS EPIDEMIA	D	TMAX
Default	RAS EPIDEMIA	D	TMIN (DIMENSIONLESS)
Default	RAS EPIDEMIA	L	Esporas Depositadas (esporas/ha)
Default	RAS EPIDEMIA	L	Esporas Germinadas (esporas/ha)
Default	RAS EPIDEMIA	L	Infecciones Latentes (Lesiones/ha)
Default	RAS EPIDEMIA	L	Lesiones Infecciosas (Lesiones/ha)
Default	RAS EPIDEMIA	L	Lesiones No Infecciosas (Lesiones/ha)
Default	RAS EPIDEMIA	L	sev
Default	RAS EPIDEMIA	L	Tiempo (day)
Default	RAS EPIDEMIA	L	Tabla Biomasa hojas (kg/ha)
Default	RAS EPIDEMIA	L	Tabla HR esp (Dmnl)
Default	RAS EPIDEMIA	L	Tabla mortalidad HR (1/day)
Default	RAS EPIDEMIA	L	Tabla mortalidad temp (1/day)
Default	RAS EPIDEMIA	C	F-Siembra (day)
Default	RAS EPIDEMIA	C	AJUSTE (day)
Default	RAS EPIDEMIA	C	Biomasa total (kg/ha)
Default	RAS EPIDEMIA	C	CTE LES (lesión/ha)
Default	RAS EPIDEMIA	C	FRACC MORT INFEC LAT (Dmnl)
Default	RAS EPIDEMIA	C	FRACCCION MORTALIDAD ESPORAS GERMINADAS (1/day)
Default	RAS EPIDEMIA	C	PERIODO GERMINACION (day)
Default	RAS EPIDEMIA	C	TIEMPO PARA INFECTAR COLONIZAR (day)
Default	RAS EPIDEMIA	F,A	Envejecimiento lesiones (Lesiones/(day*ha))
Default	RAS EPIDEMIA	F,A	mortalidad esporas depositadas (esporas/(day*ha))
Default	RAS EPIDEMIA	F,A	mortalidad esporas germinadas (esporas/(day*ha))
Default	RAS EPIDEMIA	F,A	tasa de esporas depositadas (esporas/(day*ha))
Default	RAS EPIDEMIA	F,A	tasa de germinación (esporas/(day*ha))
Default	RAS EPIDEMIA	F,A	Tasa lesiones infecciosas (esporas/(day*ha))
Default	RAS EPIDEMIA	F,A	Tasa mortalidad lesiones no infecciosas (Lesiones/(ha*day))
Default	RAS EPIDEMIA	A	BIOMASA (kg/ha)
Default	RAS EPIDEMIA	A	Espo producidas
Default	RAS EPIDEMIA	A	Esporas (esporas/(day*ha))
Default	RAS EPIDEMIA	A	Fracción esporas (Dmnl)
Default	RAS EPIDEMIA	A	Iaf (ha/ha)
Default	RAS EPIDEMIA	A	Incremento biomasa (kg/ha)
Default	RAS EPIDEMIA	A	Mort relativa HR (1/day)
Default	RAS EPIDEMIA	A	Mort relativa temp (1/day)
Default	RAS EPIDEMIA	A	MortRelEspDep (1/day)
Default	RAS EPIDEMIA	A	No máximo sitios infecciosos (lesión/ha)
Default	RAS EPIDEMIA	A	PERIODO DE LATENCIA (day)
Default	RAS EPIDEMIA	A	Senescencia hoja (kg/ha)
Default	RAS EPIDEMIA	A	Seve (porcentaje)
Default	RAS EPIDEMIA	A	SEVERIDAD ROYA
Default	RAS EPIDEMIA	A	Tasa Senescencia de hojas (Dmnl)
Default	RAS EPIDEMIA	A	Tmed

---

#### List of 4 Non-Monotonic Lookup Functions

Module	Group	Type	Variable (4)
Default	RAS EPIDEMIA	L	T Germinación
Default	RAS EPIDEMIA	L	Tabla mortalidad temp (1/day)
Default	RAS EPIDEMIA	L	TABLA PERIODO LATENCIA 0 (day)
Default	RAS EPIDEMIA	L	TABLA Prod esporas (day)

---

#### List of 10 Variables Using IF...THEN...ELSE Functions

Module	Group	Type	Variable (0)
Default	RAS EPIDEMIA	A	Esporas (esporas/(day*ha))
Default	RAS EPIDEMIA	A	fracción tejido enfermo (Dmnl)
Default	RAS EPIDEMIA	A	Senescencia hoja (kg/ha)
Default	RAS EPIDEMIA	L	sev
Default	RAS EPIDEMIA	A	Seve (porcentaje)
Default	RAS EPIDEMIA	A	SEVERIDAD ROYA
Default	RAS EPIDEMIA	F,A	tasa de esporas depositadas (esporas/(day*ha))
Default	RAS EPIDEMIA	F,A	tasa de germinación (esporas/(day*ha))
Default	RAS EPIDEMIA	A	Tasa Senescencia de hojas (Dmnl)
Default	RAS EPIDEMIA	L	Tiempo (day)

---

#### List of 2 Overly Complex Stock Formulations

Module	Group	Type	Variable (2)
Default	RAS EPIDEMIA	L	sev
Default	RAS EPIDEMIA	L	Tiempo (day)

---

#### Formulation Complexity Summary (Violations of Richardson's Rule)

Module	Group	Type	Variable	Complexity Score
Default	RAS EPIDEMIA	F,A	tasa de germinación (esporas/(day*ha))	
4				
Default	RAS EPIDEMIA	L	Sev	

---

#### List of 22 Equations with Embedded Data

Module	Group	Type	Variable (22)
Default	RAS EPIDEMIA	A	AREA POR LESION (ha/ha)
Default	RAS EPIDEMIA	DE	Biomasa retraso (kg/ha)
Default	RAS EPIDEMIA	A	d ESPORAS (esporas/ha/day)
Default	RAS EPIDEMIA	A	Esporas (esporas/(day*ha))
Default	RAS EPIDEMIA	L	Esporas Depositadas (esporas/ha)
Default	RAS EPIDEMIA	L	Esporas Germinadas (esporas/ha)
Default	RAS EPIDEMIA	A	fracción tejido enfermo (Dmnl)
Default	RAS EPIDEMIA	L	Infecciones Latentes (Lesiones/ha)
Default	RAS EPIDEMIA	L	Lesiones Infecciosas (Lesiones/ha)
Default	RAS EPIDEMIA	L	Lesiones No Infecciosas (Lesiones/ha)
Default	RAS EPIDEMIA	A	MortRelEspDep (1/day)
Default	RAS EPIDEMIA	A	Senescencia hoja (kg/ha)
Default	RAS EPIDEMIA	L	sev
Default	RAS EPIDEMIA	A	Seve (porcentaje)
Default	RAS EPIDEMIA	A	SEVERIDAD ROYA
Default	RAS EPIDEMIA	F,A	tasa de esporas depositadas (esporas/(day*ha))
Default	RAS EPIDEMIA	F,A	tasa de germinación (esporas/(day*ha))
Default	RAS EPIDEMIA	F,A	Tasa infección (esporas/(day*ha))
Default	RAS EPIDEMIA	F,A	Tasa lesiones infecciosas (esporas/(day*ha))

Default	RAS EPIDEMIA	A	Tasa Senescencia de hojas (Dmnl)
Default	RAS EPIDEMIA	L	Tiempo (day)
Default	RAS EPIDEMIA	A	Tmed

---

#### List of 8 State Variables

Module	Group	Type	Variable
Default	RAS EPIDEMIA	DE	Biomasa retraso (kg/ha)
Default	RAS EPIDEMIA	L	Esporas Depositadas (esporas/ha)
Default	RAS EPIDEMIA	L	Esporas Germinadas (esporas/ha)
Default	RAS EPIDEMIA	L	Infecciones Latentes (Lesiones/ha)
Default	RAS EPIDEMIA	L	Lesiones Infecciosas (Lesiones/ha)
Default	RAS EPIDEMIA	L	Lesiones No Infecciosas (Lesiones/ha)
Default	RAS EPIDEMIA	L	sev
Default	RAS EPIDEMIA	L	Tiempo (day)

---

#### List of 2 Unused Variables

Module	Group	Type	Variable (2)
Default	RAS EPIDEMIA	C	AJUSTE (day)
Default	RAS EPIDEMIA	C	PERIODO GERMINACION (day)

---

#### List of 1 Views and Their 67 Variables\*

	Roya asiática	
<b>Total:</b>	<b>76</b>	<b>:Total</b>
AFE (in 1 view)	X	AFE (in 1 view)
AJUSTE (in 1 view)	X	AJUSTE (in 1 view)
AREA POR LESION (in 1 view)	X	AREA POR LESION (in 1 view)
BIOMASA (in 1 view)	X	BIOMASA (in 1 view)
Biomasa retraso (in 1 view)	X	Biomasa retraso (in 1 view)
Biomasa total (in 1 view)	X	Biomasa total (in 1 view)
CTE LES (in 1 view)	X	CTE LES (in 1 view)
d ESPORAS (in 1 view)	X	d ESPORAS (in 1 view)
Envejecimiento lesiones (in 1 view)	X	Envejecimiento lesiones (in 1 view)
Espo producidas (in 1 view)	X	Espo producidas (in 1 view)
Esporas (in 1 view)	X	Esporas (in 1 view)
Esporas Depositadas (in 1 view)	X	Esporas Depositadas (in 1 view)
Esporas Germinadas (in 1 view)	X	Esporas Germinadas (in 1 view)
FINAL TIME (in 0 views)		FINAL TIME (in 0 views)
FRACC MORT INFEC LAT (in 1 view)	X	FRACC MORT INFEC LAT (in 1 view)
FRACCCION MORTALIDAD ESPORAS GERMINADAS (in 1 view)	X	FRACCCION MORTALIDAD ESPORAS GERMINADAS (in 1 view)
Fracción de esporas interceptadas (in 1 view)	X	Fracción de esporas interceptadas (in 1 view)
Fracción esporas (in 1 view)	X	Fracción esporas (in 1 view)
fracción tejido enfermo (in 1 view)	X	fracción tejido enfermo (in 1 view)
F-Siembra (in 1 view)	X	F-Siembra (in 1 view)
Función germinación (in 1 view)	X	Función germinación (in 1 view)
hr (in 1 view)	X	hr (in 1 view)
Iaf (in 1 view)	X	Iaf (in 1 view)
Incremento biomasa (in 1 view)	X	Incremento biomasa (in 1 view)
Infecciones Latentes (in 1 view)	X	Infecciones Latentes (in 1 view)
INITIAL TIME (in 0 views)		INITIAL TIME (in 0 views)
Lesiones Infecciosas (in 1 view)	X	Lesiones Infecciosas (in 1 view)
Lesiones No Infecciosas (in 1 view)	X	Lesiones No Infecciosas (in 1 view)

Mort relativa HR (in 1 view)	X	Mort relativa HR (in 1 view)
Mort relativa temp (in 1 view)	X	Mort relativa temp (in 1 view)
mortalidad esporas depositadas (in 1 view)	X	mortalidad esporas depositadas (in 1 view)
mortalidad esporas germinadas (in 1 view)	X	mortalidad esporas germinadas (in 1 view)
Mortalidad infección latente (in 1 view)	X	Mortalidad infección latente (in 1 view)
Mortalidad lesiones infecciosas (in 1 view)	X	Mortalidad lesiones infecciosas (in 1 view)
MortRelEspDep (in 1 view)	X	MortRelEspDep (in 1 view)
No máximo sitios infecciosos (in 1 view)	X	No máximo sitios infecciosos (in 1 view)
PERIODO DE LATENCIA (in 1 view)	X	PERIODO DE LATENCIA (in 1 view)
PERIODO GERMINACION (in 1 view)	X	PERIODO GERMINACION (in 1 view)
PERIODO INFECCIOSO (in 1 view)	X	PERIODO INFECCIOSO (in 1 view)
Producción Esporas (in 1 view)	X	Producción Esporas (in 1 view)
SAVEPER (in 0 views)		SAVEPER (in 0 views)
Senescencia hoja (in 1 view)	X	Senescencia hoja (in 1 view)
sev (in 1 view)	X	sev (in 1 view)
Seve (in 1 view)	X	Seve (in 1 view)
SEVERIDAD ROYA (in 1 view)	X	SEVERIDAD ROYA (in 1 view)
sitios totales ocupados (in 1 view)	X	sitios totales ocupados (in 1 view)
T Germinación (in 1 view)	X	T Germinación (in 1 view)
Tabla Biomasa hojas (in 1 view)	X	Tabla Biomasa hojas (in 1 view)
Tabla HR esp (in 1 view)	X	Tabla HR esp (in 1 view)
Tabla mortalidad HR (in 1 view)	X	Tabla mortalidad HR (in 1 view)
Tabla mortalidad temp (in 1 view)	X	Tabla mortalidad temp (in 1 view)
TABLA PERIODO LATENCIA (in 1 view)	X	TABLA PERIODO LATENCIA (in 1 view)
TABLA PERIODO LATENCIA 0 (in 1 view)	X	TABLA PERIODO LATENCIA 0 (in 1 view)
TABLA Prod esporas (in 1 view)	X	TABLA Prod esporas (in 1 view)
tasa de esporas depositadas (in 1 view)	X	tasa de esporas depositadas (in 1 view)
tasa de germinación (in 1 view)	X	tasa de germinación (in 1 view)
Tasa infección (in 1 view)	X	Tasa infección (in 1 view)
Tasa lesiones infecciosas (in 1 view)	X	Tasa lesiones infecciosas (in 1 view)
Tasa mortalidad lesiones no infecciosas (in 1 view)	X	Tasa mortalidad lesiones no infecciosas (in 1 view)
Tasa Senescencia de hojas (in 1 view)	X	Tasa Senescencia de hojas (in 1 view)
Tiempo (in 1 view)	X	Tiempo (in 1 view)
TIEMPO PARA INFECTAR COLONIZAR (in 1 view)	X	TIEMPO PARA INFECTAR COLONIZAR (in 1 view)
Time (in 1 view)	X	Time (in 1 view)
TIME STEP (in 0 views)		TIME STEP (in 0 views)
TMAX (in 1 view)	X	TMAX (in 1 view)
Tmed (in 1 view)	X	Tmed (in 1 view)
TMIN (in 1 view)	X	TMIN (in 1 view)
Total:	76	:Total
	Roya asiática	

\* Includes *Time*, if used in a view. Excludes variables not present in any view.

Level Structure †

$$\text{Esporas Depositadas} = \int \text{tasa de esporas depositadas} - \text{mortalidad esporas depositadas} - \text{tasa de germinación} \, dt + [0]$$

$$\text{mortalidad esporas depositadas} = \text{Esporas Depositadas} * \text{MortRelEspDep}$$

tasa de esporas depositadas = IF THEN ELSE (laf>0,((Producción Esporas + Esporas)\*Fracción de esporas interceptadas\*(1-fraccion tejido enfermo)),0)  
 tasa de germinación = IF THEN ELSE(hr>50,(Esporas Depositadas\*(1-MortRelEspDep))\*Función germinacion,0)

Esporas Germinadas =  $\int$  tasa de germinación-mortalidad esporas germinadas-  
 Tasa infección  $dt + [0]$   
 mortalidad esporas germinadas = Esporas Germinadas\*FRACCCION  
 MORTALIDAD ESPORAS GERMINADAS  
 Tasa infección = Esporas Germinadas\*(1-SEVERIDAD ROYA/100)/TIEMPO PARA  
 INFECTAR COLONIZAR

Infecciones Latentes =  $\int$  Tasa infección-Mortalidad infección latente-Tasa lesiones  
 infecciosas  $dt + [0]$   
 Mortalidad infección latente = (Infecciones Latentes\*FRACC MORT INFEC LAT)  
 Tasa lesiones infecciosas = Infecciones Latentes\*(1-FRACC MORT INFEC  
 LAT)/PERIODO DE LATENCIA

Lesiones Infecciosas =  $\int$  Tasa lesiones infecciosas-Envejecimiento lesiones-  
 Mortalidad lesiones infecciosas  $dt + [0]$   
 Envejecimiento lesiones = Lesiones Infecciosas/PERIODO INFECCIOSO  
 Mortalidad lesiones infecciosas = Lesiones Infecciosas\*FRACC MORT INFEC LAT

Lesiones No Infecciosas =  $\int$  Envejecimiento lesiones-Tasa mortalidad lesiones no  
 infecciosas  $dt + [0]$   
 Tasa mortalidad lesiones no infecciosas = Lesiones No Infecciosas\*Tasa  
 Senescencia de hojas

sev =  $\int$  IF THEN ELSE(Tiempo=69,IF THEN ELSE(laf>0,sitios totales ocupados/No  
 máximo sitios infecciosos,0)\*100,0)  $dt + [0]$   
 laf = BIOMASA\*AFE  
 No máximo sitios infecciosos = laf/AREA POR LESION\*CTE LES  
 sitios totales ocupados = Infecciones Latentes+Lesiones Infecciosas+Lesiones No  
 Infecciosas

Tiempo =  $\int$  IF THEN ELSE( F-Siembra<Time,1,0)  $dt + [0]$

Tiempo =  $\int$  IF THEN ELSE( F-Siembra<Time,1,0)  $dt + [0]$   
 "F-Siembra" = 135

† *Level Structure Report* still under development.



---

Source file: RAS\_EPIDEMIA.mdl (11/19/13 - 6:21 PM)  
Report Created on 11/19/13 - 6:22 PM  
SDM-Doc Tool Version 4.9.6  
Decision and Information Sciences Division  
Argonne National Laboratory

## Anexo 3. Artículo: the effect of climate change on plant diseases

African Journal of Biotechnology Vol. 11(10), pp. 2417-2428, 2 February, 2012  
Available online at <http://www.academicjournals.org/AJB>  
DOI: 10.5897/AJB10.2442  
ISSN 1684-5315 © 2012 Academic Journals

### Review

## The effect of climate change on plant diseases

R. Yáñez-López, I. Torres-Pacheco, R. G. Guevara-González, M. I. Hernández-Zul, J. A. Quijano-Carranza and E. Rico-García\*

Department of Biosystems, School of Engineering, Queretaro State University, C.U. Cerro de las Campanas, Querétaro, México.

Accepted 9 December, 2011

The effects of climate change on plant diseases have been the subject of intense debate in the last decade; research in this sense has been carry out, however, more information is needed. Elevated temperatures and carbon dioxide concentrations associated with climate change will have a substantial impact on plant-disease interactions. Changes in temperature affect both the host and the pathogen; thus, risk analyses must be conducted for each pathosystem to determine the effects of climate change. Studies have been performed under controlled conditions, and the effects of high CO<sub>2</sub> levels have been identified; however, field responses such as the adaptation of pathogens over time may be different. The climate influences the incidence as well as temporal and spatial distribution of plant diseases. The most likely effect of climate change in poleward modifies agroclimates zones, this causing a shift in the geographical distribution of host pathogens. Considering this climate change could profoundly affect the status of agricultural diseases, the focus of this study was to review studies related to the effects of climate change on plant diseases. Taking into account the work done, this review addresses the impact of climate change on plant diseases, considering the effect on crop grown, development and the impact on crop production.

**Key words:** CO<sub>2</sub>, global warming, temperature effect on diseases.

### INTRODUCTION

Much of the food we eat comes from crops, which are affected by pests, diseases and extreme weather conditions. Studies have shown that diseases, insects and weeds interfere with 36.5% of crop production around the world. In total, 14.1% of crop losses are attributed to the occurrence of diseases, which represents an annual loss of \$220 billion dollars (Agrios, 2005). In addition to monetary losses, crop destruction causes malnutrition and hunger. To reduce the effects of plant diseases, millions of kilograms of pesticides are used to treat seed, soil and harvested fruits every year, which increases production costs and environmental pollution.

Plant diseases are malfunctions caused by plant pathogenic organisms and those caused by other factors

(the so called non infectious diseases) are termed disorder (Mehrotra, 2003). The malfunction result in adverse changes in the form, function, or integrity of the plant and may lead to partial impairment or death of plant parts or of the entire plant (Agrios, 2005). Three basic elements are required for the development of an infectious disease: a susceptible host, a virulent pathogen and favorable weather conditions for infection, host colonization and propagule production. If any of the three factors are altered, the progress of any one disease can change. Although interactions among the three factors must be matched, weather is an important variable due to its dynamic behavior.

As described in the report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007), overwhelming scientific evidence suggests that the planet is experiencing climate change. This is a singular problem of global importance. The greatest effects of climate change may be observed over long periods of time and involve complex interactions between natural (ecological and climatic facts), social, economical and political

\*Corresponding author. E-mail: [ricog@uaq.mx](mailto:ricog@uaq.mx) or [garciaico@yahoo.com](mailto:garciaico@yahoo.com) Tel: (52) (442) 1921200 ext. 6016. Fax: (52) (442) 1921200 ext. 6015.

## Anexo 4. Artículo: efecto de la temperatura y humedad relativa en la germinación de esporangios de *Bremia lactucae* Regel.

Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.3 Núm.5 1 de septiembre - 31 de octubre, 2012 p. 1039-1045

### Efecto de la temperatura y humedad relativa en la germinación de esporangios de *Bremia lactucae* Regel\*

### Effect of temperature and relative humidity on the germination of *Bremia lactucae* Regel sporangia

Ricardo Yáñez López<sup>1</sup>, Juan Ángel Quijano Carranza<sup>2</sup>, Carlos Manuel Bucio Villalobos<sup>1</sup>, María Irene Hernández Zul<sup>1</sup>, José Honorato Arreguín Centeno<sup>1</sup> y Jesús Narro Sánchez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Guanajuato, Campus Irapuato-Salamanca División Ciencias de la Vida, Apdo. Postal 311, Irapuato Guanajuato, México C.P. 36500. Tel. 01 461 6115623. Ext. 219. (ranez@itelcel.com), (buciovillalobos@yahoo.com.mx), (irenezul@hotmail.com), (jharrece@hotmail.com). <sup>2</sup>INIFAP-CIR Centro-Campo Experimental Bajío Carretera Celaya-San Miguel de Allende, km 6.5, C. P. 38010, Celaya Guanajuato, México. Tel. 01 461 6115623. Ext. 219. (jnarros@hotmail.com). <sup>3</sup>Autor para correspondencia: juanangelquijano@prodigy.net.mx.

#### Resumen

El propósito de este trabajo realizado en 2009, fue estudiar el efecto de la temperatura, y la humedad relativa, en la germinación de esporangios de *Bremia lactucae* Regel. El efecto de estas variables sobre la germinación de esporangios *in vitro*, se evaluó en cámaras de incubación mediante 21 tratamientos formados por los niveles de temperatura de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 °C en combinación con humedades de 70, 80, 90%. La germinación se evaluó a las 24 h de establecer el tratamiento. Se realizó un análisis estadístico para determinar la importancia de estas variables y su interacción sobre la germinación de esporangios e inferir sobre el rango óptimo de temperatura y humedad. Se encontró que existe efecto significativo de la interacción entre estas variables sobre la germinación, presentándose esta desde los 5 °C hasta los 25 °C. El tratamiento que presentó el mayor porcentaje de germinación fue el de 10 °C en combinación con humedad relativa 90%. Con base en un análisis de superficie de respuesta. Se concluyó que el óptimo de germinación de esporangios se consigue con temperaturas de entre 9.5 y 12.5 °C con una humedad de 90%.

**Palabras clave:** *Bremia lactucae*, *Lactuca sativa*, esporangios, germinación.

\* Recibido: noviembre de 2011  
Aceptado: julio de 2012

#### Abstract

The purpose of this work, performed in 2009, was to study the effect of temperature and relative humidity on the germination of *Bremia lactucae* Regel sporangia. The effect of these variables on the *in vitro* germination of sporangia was evaluated in incubation chambers, with 21 treatments formed by the temperature levels of 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 °C combined with humidities of 70, 80, 90%. Germination was evaluated 24 h after the treatment was established. A statistical analysis was carried out to determine the importance of these variables and their interaction on the germination of sporangia and infer on the optimum temperature and humidity ranges. We found that there is a significant effect of the interaction between these variables on germination, which appears starting at 5 °C until 25 °C. The treatment that presented the highest percentage of germination was 10 °C, in combination with a relative humidity of 90%. Based on a surface response analysis, we concluded that the optimum of sporangia germination can be obtained with with temperatures ranging from 9.5 to 12.5 °C with a relative humidity of 90%.

**Key words:** *Bremia lactucae*, *Lactuca sativa*, sporangium, germination.

**Anexo 5. Certificado de derechos de autor del modelo de simulación de la patogénesis de roya asiática.**

**CERTIFICADO**

Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169, 209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la **OBRA** cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:

**AUTORES:** YAÑEZ LOPEZ RICARDO  
RICO GARCIA ENRIQUE  
TERAN VARGAS ANTONIO PALEMON

**TITULO:** MODELO DE SIMULACION DE LA PATOGENESIS DE ROYA ASIATICA DE LA SOYA, RAS\_EPIDEMIA.MDL

**RAMA:** PROGRAMAS DE COMPUTACION

**TITULAR:** UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO (CON FUNDAMENTO EN EL ARTICULO 103 PRIMER PARRAFO DE LA L.F.D.A.)

Con fundamento en lo establecido por el artículo 168 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las inscripciones en el registro establecen la presunción de ser ciertos los hechos y actos que en ellas consten, salvo prueba en contrario. Toda inscripción deja a salvo los derechos de terceros. Si surge controversia, los efectos de la inscripción quedarán suspendidos en tanto se pronuncie resolución firme por autoridad competente.

---

**Número de Registro:** 03-2013-112111233000-01

---

México D.F., a 28 de noviembre de 2013

**SUBDIRECTOR DE REGISTRO DE OBRAS Y CONTRATOS**

FRANCISCO JAVIER BALDERAS RODRIGUEZ

  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
INSTITUTO NACIONAL  
DEL DERECHO DE AUTOR  
SECRETARÍA DE