

Relación entre Incidencia y Severidad de la Roya Asiática de la Soya Causada por *Phakopsora pachyrhizi* Sydow & Sydow

Relationship Between Incidence and Severity of Asian Soybean Rust Caused by *Phakopsora pachyrhizi* Sydow & Sydow

Felipe Rafael Garcés Fiallos¹ y Carlos Alberto Forcelini²

Resumen. Se relaciona la incidencia con la severidad de la roya asiática de la soya, donde los valores generados por las ecuaciones pueden ser usados en cualquier estudio de este patosistema, proporcionando una herramienta para evaluar la incidencia como también la severidad. Se generaron gradientes de la enfermedad mediante el uso de fungicidas y momentos de aplicación, de manera preventiva y curativa. El experimento de campo con el cultivar Nidera 5909 RG, fue distribuido en bloques completos al azar. La intensidad de la roya asiática fue medida en los estratos inferior, medio y superior de la planta, a través de diferentes conteos de incidencia (porcentaje) y severidad (lesiones cm⁻², urédias cm⁻² y porcentaje) en folíolos. Las regresiones realizadas, presentaron una correlación significativa entre incidencia y severidad a 1% de probabilidad. Con los datos obtenidos, el evaluador puede escoger el método de cuantificación mas razonable o confiable a su criterio para otros trabajos de investigación o aplicar un determinado control de la enfermedad, utilizando las ecuaciones lineales generadas, facilitando el trabajo de cuantificar la roya asiática, bien se busque medir la incidencia (%) o el número de lesiones cm⁻², urédias cm⁻² o severidad (%).

Palabras clave: Fitopatometría, comportamiento agronómico, enfermedades, fungicidas.

Abstract. Incidence is related to severity of the Asian soybean rust, where values generated by the equations can be used in any study of this pathosystem, providing a tool to evaluate incidence as well severity. Gradients of the disease were generated by means of the use of fungicides and moments of application, in a preventive and curative way. The field experiment with the cultivar Nidera RG 5909, was distributed in a randomized complete block. The intensity of Asian rust layers was measured in the lower, middle and top of the plant, through various counts of incidence (percentage) and severity (lesions cm⁻², uredinia cm⁻² and percentage) in leaflets. The regressions showed a significant correlation between incidence and severity at 1% probability. With obtained data, the assessor can choose the most reasonable or reliable quantification method at their discretion for other research or apply a particular disease control, using the linear equations generated, facilitating the work of quantifying Asian soybean rust either seeking to measure the incidence (%) or the number of injuries cm⁻², urédias cm⁻² or severity (%).

Key words: Phytometry, agronomic performance, diseases, fungicides.

Brasil es el segundo mayor productor mundial de soya (*Glycine max* L. Merrill), siendo solamente superado por los Estados Unidos. En la cosecha 2008-2009 en Brasil, el área sembrada ocupó entre 22.283,1 y 22.648,1 millones de hectáreas (Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, 2009), siendo uno de los cultivos mas importantes para ese país.

La roya asiática causada por el hongo biotrófico *Phakopsora pachyrhizi* Sydow & Sydow, causante de daños hasta de un 90% en el cultivo de soya según Hartman *et al.* (1999), fue constatada por primera vez en el continente americano en el año 2002 por Morel y Yorinori (2002), en el mismo año en Paraguay y en Brasil (Yorinori *et al.*, 2002), en

2004 en Uruguay (Stewart *et al.*, 2005) y en 2005 en Ecuador (Sotomayor, 2005). Reis *et al.* (2002) mencionan la ocurrencia de la roya asiática de la soya en Passo Fundo, Brasil en el 2002. Desde la llegada de esta enfermedad al continente americano hasta la fecha, ha sido considerada una de las afecciones más destructivas y causante de mayores daños en la leguminosa, incidiendo este patógeno biotrófico en la defolia precoz y en los principales componentes de rendimiento, provocando la disminución del número de vainas, granos y peso de los mismos (Garcés *et al.*, 2010).

La cuantificación de la intensidad de una enfermedad es tan importante para la fitopatología como el

¹ Ingeniero Agrónomo. Becario de la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología del Ecuador – SENACYT. Universidad Técnica Estatal de Quevedo - Unidad de Investigación Científica y Tecnológica. km 1 ½ vía Quevedo-Santo Domingo de los Tsáchilas, CP 73, Quevedo, Los Ríos, Ecuador. <felipegarces23@yahoo.com>

² Ingeniero Agrónomo. Universidade de Passo Fundo - Laboratório de Fitopatologia. CEP 99052-900, Passo Fundo, RS, Brasil. <forcelini@upf.tche.br>

Recibido: Julio 19 de 2010; aceptado: Junio 07 de 2011.

diagnóstico (Kranz, 1988). Casa *et al.* (2009) manifiestan que los daños asociados a enfermedades foliares son causantes del mal funcionamiento y de la destrucción de los tejidos fotosintéticos, debido al aumento del número y del área de lesiones, que pueden determinar la necrosis de toda la hoja, limitando de esa manera la intercepción de la radiación solar y la translocación de fotoasimilados para el desarrollo de los granos.

Dentro de la fitopatometría se pueden utilizar métodos subjetivos y objetivos. Bergamin y Amorim (1996) consideran que el problema de uniformidad de los métodos en fitopatometría se inicia por la propia terminología utilizada. Casa *et al.* (2009) mencionan que tanto para la incidencia como para la severidad es fundamental que el observador tenga conocimiento profundo sobre la sintomatología, principalmente para evitar atribuir notas en el caso de enfermedades abióticas o de sintomatología semejante.

Se deben tener en consideración algunos conceptos, a) Intensidad de la enfermedad: Se refiere a la cantidad de enfermedad presente en una población (Casa, 2009); b) Incidencia: Se define como la proporción (0 a 1) o porcentaje (0 a 100) de entes enfermos dentro de una unidad de muestreo, en otras palabras puede ser la proporción (o porcentaje) de las hojas enfermas en una planta, los tallos enfermos de una caña, o árboles enfermos en un huerto (Seem, 1984); c) Severidad: Área de tejidos vegetales afectadas por una enfermedad (James, 1974), también definida como el área de una unidad muestreada (superficie de la planta o de un órgano, por ejemplo una hoja) afectada por la enfermedad, expresada en porcentaje y/o una proporción de área total (Casa *et al.*, 2009).

Casa *et al.* (2009) expresan que la principal herramienta utilizada para generar un gradiente de enfermedades es la utilización de fungicidas, en dosis distintas y número de aplicaciones en diferentes estadios fenológicos. Los mismos autores afirman también que para evaluar la intensidad de las enfermedades en cualquiera de los estadios fenológicos, se utiliza principalmente el criterio de la incidencia por ser objetivo, simple, práctico y rápido. La evaluación de la severidad es tediosa, consume tiempo, usualmente es propensa al sesgo y conlleva a un gran error experimental (Silva *et al.*, 1999). Por otro lado, cuando la severidad de la enfermedad está bastante relacionada con la incidencia, se puede optar por usar esta última, ya que es fácil de medir y con ella se puede estimar la severidad (Seem, 1984).

La relación entre incidencia y severidad ya fue estudiada en otros patosistemas, varias referencias en la literatura sirven de ejemplo: James y Shih (1973); Seem y Gilpatrick (1980); Chuang y Jeger (1987); Dillard y Seem (1990); Reis *et al.* (1995); Reis *et al.* (1996); Groth *et al.* (1999); Xu y Madden (2002) y Copes y Stevenson (2008). Existen trabajos realizados con algunas royas, realizados en los patosistemas *Uromyces phaseoli* var. *typica* race 34-*Phaseolus vulgaris* cv. Bountiful (Hughes *et al.*, 1997), *Puccinia sorghi* Schwein.-*Zea mays* L. (Pataky y Headrick, 1988) y *Hemileia vastatrix* Berk. & Broome-*Coffea arabica* L. (Silva *et al.*, 1999), no habiendo aún publicaciones sobre el patosistema *P. pachyrhizi*-*Glycine max* L. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue relacionar la incidencia con la severidad de la roya asiática de la soya, donde los valores generados de las ecuaciones pueden ser usados en cualquier estudio, proporcionando una herramienta para evaluar tanto la incidencia como la severidad de esta enfermedad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue realizado en el campo experimental de la Facultad de Agronomía y Medicina Veterinaria (FAMV) de la Universidad de Passo Fundo (UPF), Río Grande del Sur, Brasil, durante la campaña de verano 2009/2010, utilizándose el cultivar de soya Nidera 5909 RG, sembrada en diciembre 05 de 2009, a través de siembra directa sobre soca de trigo.

El espaciamiento fue de 0,45 m entre líneas y una densidad de 14 semillas m⁻¹, las cuales fueron tratadas con una mezcla comercial (Standak Top®, 100 mL 100 kg⁻¹ de semilla) de insecticida Fipronil y dos fungicidas Piraclostrobina y Tiofanato metílico. La fertilización fue realizada con 300 kg ha⁻¹ de la fórmula 5-25-20 (N-P₂O₅-K₂O).

El manejo de las plantas invasoras fue realizado con una desecación en pre-emergencia y otras dos aplicaciones del herbicida glifosato (Roundup® WG) en pos-emergencia. Fueron igualmente realizadas tres aplicaciones de insecticida, la primera con piretroide (Talcord®) + Thiodicarb y Triflururon (Certero®), la segunda con Thiodicarb y Triflururon (Certero®) y la tercera con Neonicotinoide (Engeo®) + piretroide (Talcord®).

El delineamiento experimental fue en bloques casualizados con 16 tratamientos y cuatro repeticiones cada una, sumando 64 parcelas con un área útil

de 13,5 m² y media de 360 plantas establecidas en cada una de ellas. Se utilizó un fungicida Triazol (Tebuconazol, Folicur® 200 CE, 0,5 L ha⁻¹) y una mezcla de Triazol + Estrobilurina (Epoconazol + Piraclostrobina, Opera®, 0,5 L ha⁻¹), esta última con un adyuvante a base de aceite mineral (Assist®, 0,5 L ha⁻¹). El testigo fue mantenido sin fungicida en la parte aérea. Para las aspersiones se utilizó un pulverizador de mochila de CO₂, equipado con puntas

TT 110015, regulado a un volumen de fluido de 150 L ha⁻¹. Las aplicaciones fueron realizadas en el inicio de la mañana o final de la tarde, sobre condiciones de temperaturas inferiores a 30 °C, humedad relativa arriba de 60% y velocidad del viento inferior a 6 m s⁻¹. Cada uno de los tratamientos se detalla en la Tabla 1.

Fueron evaluadas la incidencia y severidad de la enfermedad en estratos (inferior, medio y superior)

Tabla 1. Estadios fenológicos del cultivar de soya Nidera 5909 RG y fechas de la aplicación de fungicidas.

Tratamientos	Fungicida	Estadio*	Fecha
1	Sin aplicación de fungicida		
2		V9	22/1
3		V9 + R4	22/1, 11/2
4		V9 + R4 + R5.3	22/1, 11/2, 3/3
5	Tebuconazol	V9 + R5.3	22/1, 3/3
6		R4 + R5.3	11/2, 3/3
7		R4	11/2
8		R5.3	3/3
9		V9	22/1
10		V9 + R4	22/1, 11/2
11		V9 + R4 + R5.3	22/1, 11/2, 3/3
12	Epoconazol +	V9 + R5.3	22/1, 3/3
13	Piraclostrobina	R4 + R5.3	11/2, 3/3
14		R4	11/2
15		R5.3	3/3
16		V9 + R3 + R5.1 + R6	22/1, 6/2, 21/2, 3/3

*De acuerdo con Fehr *et al.* (1991)

por planta, siendo iniciadas en la misma fecha de la primera aplicación del fungicida (22/1) y posteriormente el 28/1, 3/2, 10/2 y 17/2 para los estratos inferior y medio, mientras que para el estrato superior y la media de los mismos se realizaron dos evaluaciones más, siendo ellas el 23/2 y 2/3. En todas las fechas señaladas fueron colectadas dos plantas en cada parcela, las cuales fueron divididas en tres partes iguales (estrato inferior, medio y superior), de acuerdo con el número de nudos en el tallo. En el laboratorio, los folíolos centrales fueron arrancados y evaluados, considerando la presencia de lesiones y urédias de la roya. La enfermedad fue cuantificada como incidencia, número de lesiones y urédias por cm², a partir de mediciones en un área

pre-determinada del folíolo, utilizando un microscopio estereoscopio (ZEISS® modelo Stemi 2000-C). La incidencia fue cuantificada hasta que alcanzó el 100% en el testigo del experimento. Para la obtención del porcentaje de la severidad, los datos de urédias cm⁻² fueron multiplicados por la constante (0,195) (Reis, datos no publicados), ya que la severidad dada en porcentaje, es una de las formas de cuantificación de enfermedades foliares más usadas en todo cultivo.

Los valores de incidencia fueron colocados como variable independiente (x) y fueron relacionados con las variables dependientes (y) siendo ellas el número de lesiones y urédias por cm⁻² y severidad (%). En estas relaciones, fueron utilizados valores de

incidencia abajo del 100%, conforme James y Shih (1973) y Silva *et al.* (1999). Fue realizado un análisis de regresión lineal para las relaciones mencionadas utilizando el programa SAS 9,0 y para la representación de las mismas en figuras, se utilizó Microsoft Excel.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores máximos de severidad fueron alcanzados en el testigo, siendo para la media de los tres estratos 30,21 lesiones cm⁻², 53,69 urédias cm⁻² y 10,47%, recalando que los valores máximos citados, no fueron la mayor severidad detectada en el campo experimental

de la UPF, ya que esta aumentó progresivamente llegando hasta 117,93 lesiones cm⁻², 223,88 urédias cm⁻² y una severidad de 43,66%, siendo la mayor detectada en el lugar y en el Estado de Río Grande del Sur, hasta ahora.

Las regresiones lineales realizadas en este trabajo, presentaron una correlación significativa entre incidencia y severidad (lesiones cm⁻², urédias cm⁻² y %) a P<0,01 de probabilidad en las condiciones que fue realizado el experimento (Tabla 2). Los coeficientes de determinación obtenidos en las regresiones variaron de 0,69 para el estrato inferior

Tabla 2. Ecuaciones y coeficientes de determinación (R²) obtenidos de cada una de las regresiones lineales entre incidencia (%) (variable independiente) y lesiones cm⁻², urédias cm⁻² y severidad (%) (variables dependientes), en cada uno de los estratos inferior, medio y superior, y la media de los mismos, en el cultivar de soya Nidera 5909 RG.

Estratos	Lesiones cm ⁻²		Urédias cm ⁻²		Severidad (%)	
	Ecuaciones	R ²	Ecuaciones	R ²	Ecuaciones	R ²
Inferior	$L = 0,086$ $I - 0,102$	0,80	$U = 0,130$ $I - 1,377$	0,69	$S = 0,025$ $I - 0,269$	0,69
Medio	$L = 0,051$ $I - 0,345$	0,81	$U = 0,125$ $I - 0,850$	0,87	$S = 0,024$ $I - 0,166$	0,87
Superior	$L = 0,103$ $I - 0,467$	0,79	$U = 0,224$ $I - 0,987$	0,81	$S = 0,044$ $I - 0,193$	0,81
Media	$L = 0,057$ $I - 0,628$	0,75	$U = 0,115$ $I - 1,230$	0,78	$S = 0,022$ $I - 0,240$	0,78

en el número de urédias cm⁻² y severidad (%) a 0,87 para el estrato medio del número de urédias cm⁻² y severidad (%). Por otro lado, todas las ecuaciones obtenidas en el presente trabajo al haber resultado significativas al P<0,01, explicaron la respuesta biológica y matemática de la relación entre incidencia y severidad. Una ecuación exponencial puede ser usada para estimar la incidencia para cualquier valor obtenido de la severidad; sin embargo, en la práctica esto no es usado para la estimación (James y Shih, 1973), ya que las ecuaciones lineales ($y=ax+b$) son más fáciles de entender, interpretar y frecuentemente utilizadas, al contrario de las exponenciales.

En la Figura 1, se observa para la media de los estratos, que arriba del 60% de incidencia existe menos correlación. Este hecho puede ser causado porque en el inicio de una epidemia, la enfermedad crece principalmente en el espacio con el aumento de la incidencia, gracias a nuevas unidades infectadas, mientras que cuando la mayoría de las plantas ya presentan síntomas (incidencia elevada), prácticamente no habrá más crecimiento espacial, habiendo sí una evolución de la enfermedad en

función del tiempo, siendo esta casi exclusivamente de la severidad (Bergamin y Amorim, 1996).

El desarrollo de enfermedades foliares en cultivos como los cereales, es usualmente por el resultado de dos procesos simultáneos; el aumento en la proporción de niveles de infección y en el porcentaje de área foliar afectada por la enfermedad, refiriéndose a la incidencia y severidad, respectivamente (James y Shih, 1973). Esta afirmación es corroborada en este trabajo, ya que el incremento de la roya asiática de la soya se dio en función de la incidencia (%) y la severidad dada por el número de lesiones y urédias por cm⁻² y %.

CONCLUSIÓN

Con los datos aportados, el evaluador puede escoger el método de cuantificación mas razonable o confiable a su criterio para otros trabajos de investigación o aplicar un determinado control de la enfermedad, utilizando las ecuaciones lineales generadas, facilitando el trabajo de cuantificar la roya asiática, para el caso personal de cada

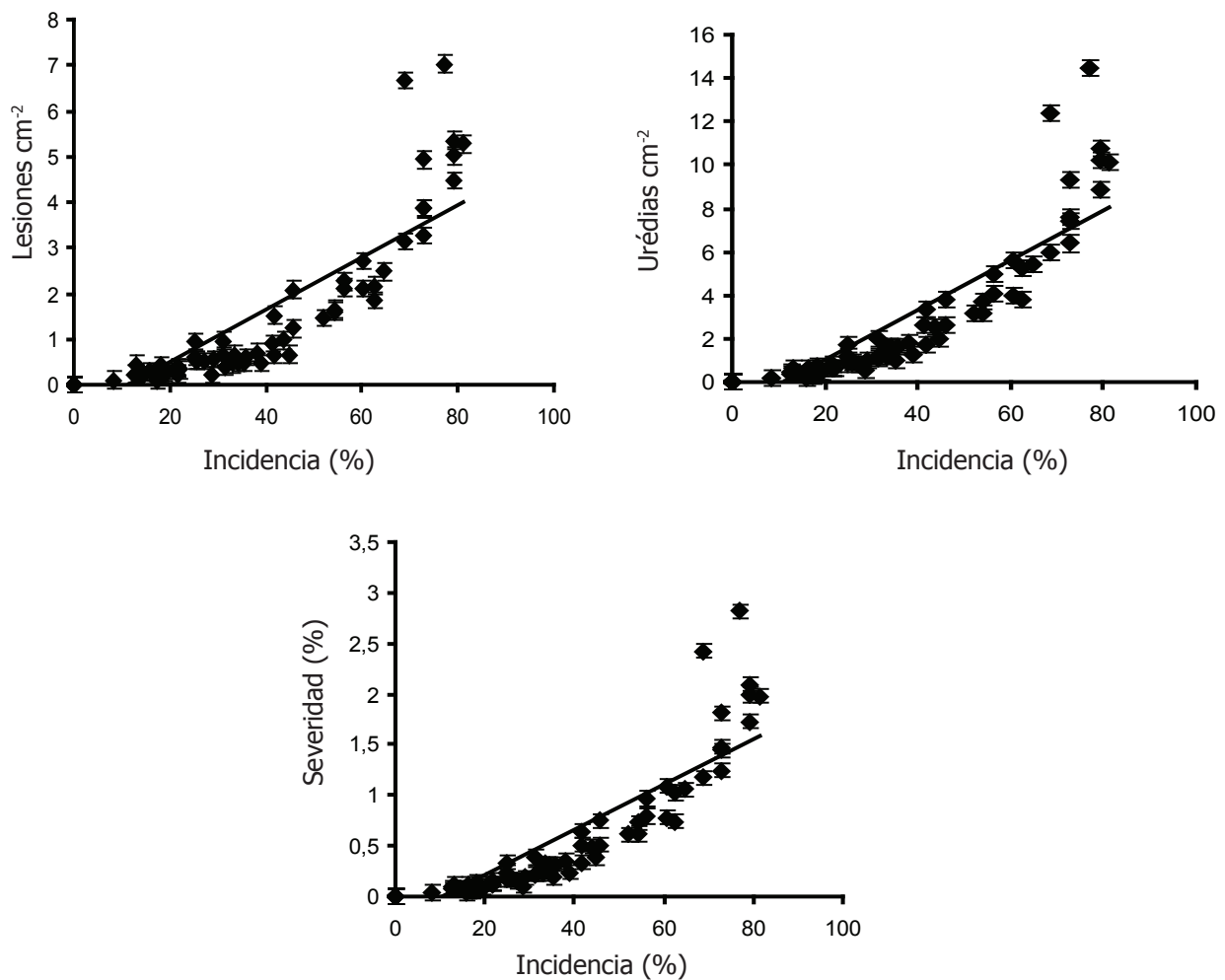


Figura 1. Relaciones para la media de los tres estratos, entre la incidencia con el número de lesiones cm^{-2} , urédias cm^{-2} y severidad (%) en la cultivar de soja Nidera 5909 RG.

evaluador, sea este midiendo la incidencia (%) o el número de lesiones cm^{-2} , urédias cm^{-2} y severidad (%).

BIBLIOGRAFÍA

Bergamin, A. e L. Amorim. 1996. Doenças de Plantas Tropicais: Epidemiologia e Controle Econômico. Ceres, São Paulo. 299 p.

Casa, R., E. Reis, e M. Casa. 2009. Critério: limiar de dano econômico (LDE) e quantificação de danos. p. 66-78. Em: Reis, E.M. (ed.). Critérios indicadores do momento para aplicação de fungicidas visando ao controle de doenças em soja e trigo. Aldeia Norte Editora, Passo Fundo. 147 p.

Copes, W.E., and K.L. Stevenson. 2008. A pictorial disease severity key and the relationship between severity and incidence for black root rot of pansy caused by *Thielaviopsis basicola*. Plant Disease 92(10): 1394-1399.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB 2009. Acompanhamento da safra brasileira 2008-2009. Intenção de plantio, primeiro levantamento. Outubro de 2009, http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/1graos_09.10.pdf. 42 p.; consulta: outubro 2009.

Chuang, T.Y. and M.J. Jeger. 1987. Relationship between incidence and severity of banana leaf spot in Taiwan. Phytopathology 77(11): 1537-1541.

- Dillard, H.R. and R.C. Seem. 1990. Incidence-severity relationships for common maize rust on sweet corn. *Phytopathology* 80(9): 842-846.
- Fehr, W., C. Caviness, D. Burmood and J. Pennington. 1991. Stage of development description for soybean *Glycine max* L. Merrill. *Crop Science* 11(6): 920-931.
- Garcés, F., E. Reis, C. Cardoso e C. Forcelini. 2010. Umbral numérico de infección de *Phakopsora pachyrhizi* en el cultivo de soya. *Tropical Plant Pathology* v. 35, supl. S-168.
- Groth, J., E. Ozmon and R. Busch. 1999. Repeatability and relationship of incidence and severity measures of scab of wheat caused by *Fusarium graminearum* in inoculated nurseries. *Plant Disease* 83(11): 1033-1038.
- Hartman, G., J. Sinclair and J. Rupe. 1999. Compendium of soybean diseases. Fourth edition. American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota. 100 p.
- Hughes, G., N. McRoberts, L. Madden and T. Gottwald. 1997. Relationships between disease incidence at two levels in a spatial hierarchy. *Phytopathology* 87(5): 542-550.
- Imhoff, M., K. Leonard and C. Main. 1982. Analysis of disease progress curves, gradients, and incidence-severity relationships for field and phytotron bean rust epidemics. *Phytopathology* 72(1): 72-80.
- James, W.C. 1974. Assessment of plant disease and losses. *Annual Review Phytopathology* 12: 27-48.
- James, W.C. and C.S. Shih. 1973. Relationships between incidence and severity of powdery mildew and leaf rust on winter wheat. *Phytopathology* 63(1): 183-187.
- Kranz, J. 1988. Measuring plant disease. pp. 35 – 50. In: Kranz, J. and Rotem, J. (eds.). *Experimental techniques in plant disease epidemiology*. Springer-Verlag, Heidelberg. 299 p.
- Morel, W. y J. Yorinori. 2002. Situación de la roya de la soja en el Paraguay. Capitán Miranda. Centro Regional de Investigación Agrícola – CRIA. Boletín de Divulgación 44. 4 p.
- Pataky, J.K. and J.M. Headrick. 1988. Relationships between common rust incidence and severity on a susceptible and a partially resistant sweet corn hybrid. *Phytopathology* 78(9): 1155-1160.
- Reis, E., F. Gassen, R. Casa e M. Silva. 1995. Relação entre a incidência e a severidade da mancha-em-rede da cevada, causada por *Drechslera teres*. *Fitopatologia Brasileira* 20(4): 601-604.
- Reis, E., R. Casa e C. Forcelini. 1996. Relação entre a severidade e a incidência da ferrugem da folha do trigo, causada por *Puccinia recôndita* f. sp. *tritici*. *Fitopatologia Brasileira* 21(3): 369-372.
- Reis, E., R. Casa e C. Michel. 2002. Ocorrência de epidemia da ferrugem da soja no Rio Grande do Sul na safra 2001/2002. *Fitopatologia Brasileira* v. 27, supl. S-198.
- SAS/STAT® 2002. Versão 9.0. sistema SAS para Windows, copyright SAS Institute Inc., Cary, USA.
- Seem, R.C. 1984. Disease incidence and severity relationships. *Annual Review Phytopathology* 22: 133-150.
- Seem, R.C. and J.D. Gilpatrick. 1980. Incidence and severity relationships of secondary infections of powdery mildew on apple. *Phytopathology* 70(9): 851-854.
- Silvaña, R., L. Maffia, L. Zambolim and R. Berger. 1999. Incidence-severity relationships in the pathosystem *Coffea arabica* – *Hemileia vastatrix*. *Plant Disease* 83(2): 186-188.
- Sotomayor, I. 2005. La roya de la soja, estrategias de manejo. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Quevedo (Ecuador). Estación Experimental Tropical Pichilingue. INIAP, Ecuador. Boletín divulgativo 330. 7 p.
- Stewart, S., E. Guillin and L. Díaz. 2005. First report of soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* in Uruguay. *Plant Disease* 89(8): 903-909.
- Xu, X., and L. Madden. 2002. Incidence and density relationships of powdery mildew on apple. *Phytopathology* 92(9): 1005-1014.
- Yorinori, J., W. Paiva, R. Frederick e P. Fernández. 2002. Ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) no Brasil e no Paraguai, nas safras 2001/01 e 2001/02. p. 94. Em: Congresso Brasileiro de Soja, Foz de Iguazu, Brasil.