

Modelo de infección y desarrollo de *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei* Eriks en Guanajuato, México*

Infection and development model of *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei* Eriks in Guanajuato, Mexico

Carlos Cuéllar Zambrano¹, Sergio Sandoval Islas^{1§}, Juan Ángel Quijano Carranza², Mauro Zamora Díaz³ y René Gómez Mercado⁴

¹Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Carretera México-Texcoco km. 36.5, Montecillo, Texcoco 56230, Estado de México. (carlos-cz@hotmail.com). ²Campo Experimental Bajío-INIFAP. Celaya Guanajuato, México, A. P. 112. C. P. 38000. (quijano.juanangel@inifap.gob.mx). ³Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Chapingo Estado de México, A. P. 10. C. P. 56230. (zamora.mauro@inifap.gob.mx). ⁴Sitio Experimental Pachuca-INIFAP. Carretera Pachuca Cd. Sahagún km 3.6, núm. 2000, Torre Norte 1^{er}. Piso, Desp. 111, C. P. 42180, Pachuca, Hidalgo. (gomez.rene@inifap.gob.mx). [§]Autor para correspondencia: sandoval@colpos.mx.

Resumen

La roya lineal de la cebada (*Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*) es una de las principales enfermedades en El Bajío, debido a que el cultivo se establece en el ciclo de riego otoño-invierno. Los esquemas de manejo integrado en la actualidad no cuentan con suficiente información para sustentar el empleo de productos químicos para controlar la enfermedad. Se elaboró un modelo de simulación que calcula el inicio de la infección y el desarrollo de la enfermedad, para contar con una herramienta que permita implementar medidas de control de una manera más oportuna y mejor informada. El estudio se llevó a cabo en el INIFAP-CEBAJ, en Celaya, Guanajuato, durante los ciclos otoño-invierno 2010, 2011, 2012 y 2013, se evaluaron las severidades de los genotipos Apizaco, Alina, Armida y Esperanza. El modelo calcula la infección cuando se cumplen los requerimientos del patógeno ($T^{\circ} \leq 11$, $HR \geq 80$), con datos de clima diarios, además de estimar la severidad en términos de porcentaje de tejido infectado. Al hacer la comparación de las estimaciones del modelo con los datos de campo se encontró una alta relación, lo cual indica que el modelo se puede utilizar de manera confiable. El estudio de riesgo realizado mostró que las condiciones para infección de roya se presentan al menos diez días en el mes de febrero con una probabilidad de 80%, un riesgo muy alto considerando que la mayor parte de las siembras en El Bajío son en diciembre.

Abstract

The barley stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *Hordei*) is one of the major diseases in El Bajío, because the crop is established at the watering cycle autumn-winter. Integrated management schemes do not have enough information to support the use of chemicals to control the disease. A simulation model was developed, it calculates the onset of infection and disease development, to have a tool to implement control measures in a better informed way. The study was conducted in the INIFAP-CEBAJ in Celaya, Guanajuato, during cycles autumn-winter 2010, 2011, 2012 and 2013, the severities of Apizaco, Alina, Armida and Esperanza genotypes were evaluated. The model calculates the infection, when the requirements of the pathogen are met ($T^{\circ} \leq 11$ HR ≥ 80), with daily weather data, in addition to estimating the severity in terms of percentage of infected tissue. When comparing the estimates of the model with field data, high relationship was found, indicating that the model can be used reliably. The risk study conducted showed that, the conditions for rust infection occur at least ten days in February with a probability of 80%, a very high risk considering that most of the crops in El Bajío are in December.

Keywords: *Puccinia striiformis*, barley, simulation model, system dynamics.

* Recibido: febrero de 2015
Aceptado: abril de 2015

Palabras clave: *Puccinia striiformis*, cebada, dinámica de sistemas, modelo de simulación.

En México, 67% de la producción total de cebada corresponde a siembras de temporal (primavera-verano) y 33% restante corresponde a la modalidad de riego (otoño-invierno). La región donde se cultiva bajo condiciones de riego es El Bajío, que corresponde a los estados de Querétaro, Guanajuato, Michoacán y Jalisco (Islas, 2008); en el período comprendido de 2003 a 2009, el rendimiento promedio en El Bajío fue de 4.7 t ha⁻¹ (SIAP-SAGARPA, 2009). La roya lineal de la cebada, causada por *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*, es una enfermedad grave en el bajío, ya que el cultivo se establece en el ciclo de riego otoño-invierno, y el hongo se ve favorecido durante ese periodo debido a que es un patógeno de baja temperatura y constituye un problema importante en lugares donde prevalece el clima fresco y húmedo (Stubbs, 1988).

El rango de temperatura óptimo para la germinación de las esporas es de 9-13 °C, y de 12-15 °C para su desarrollo y esporulación (Roelfs *et al.*, 1992). Las royas se pueden controlar con aspersiones de fungicidas; sin embargo, se incrementan los costos de cultivo y los daños al ambiente (Sandoval *et al.*, 1999). La intensidad de la enfermedad cambia de un ciclo a otro, en respuesta a las condiciones meteorológicas que se presenten. En la actualidad, los esquemas de manejo integrado utilizan información del hospedante, del patógeno y de las condiciones meteorológicas, pero ninguno permite alertar o pronosticar el inicio de la infección o el desarrollo del patógeno.

Los modelos dinámicos permiten la integración de las variables asociadas al patosistema, además de calcular los cambios atribuibles a las condiciones meteorológicas para obtener información suficiente que sustente la aplicación de productos para controlar la enfermedad. Para esto, se realizó un modelo que estima el inicio de la infección y el desarrollo de la roya lineal de la cebada (*P. striiformis* f. sp. *hordei*) en el Estado de Guanajuato, con la finalidad de utilizarlo como herramienta para la toma de decisiones en la prevención y manejo de esta enfermedad.

El trabajo se realizó en el INIFAP (Campo Experimental Bajío), en Celaya, Guanajuato. El monitoreo agroclimático fue realizado mediante la red de estaciones meteorológicas de la Fundación Guanajuato Produce y estaciones portátiles

In Mexico, 67% of the total production of barley is for rainfed crops (spring-summer) and remaining 33% is irrigated (autumn-winter). The region where it is grown under irrigation is El Bajío, corresponding to the States of Querétaro, Guanajuato, Michoacan and Jalisco (Islas, 2008); in the period of 2003-2009, the average yield in El Bajío was 4.7 t ha⁻¹ (SIAP-SAGARPA, 2009). The barley stripe rust, caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*, is a serious disease in the shoal, as the crop is set in the watering cycle autumn-winter, and the fungus is favoured during this period because it is a pathogen of low temperature and is a major problem in places where the cold, moist climate prevail (Stubbs, 1988).

The optimum temperature range for germination of spores is 9-13 °C and 12-15 °C for development and sporulation (Roelfs *et al.*, 1992). The rusts can be controlled by spraying fungicides; however, growing costs and damage to the environment are increased (Sandoval *et al.*, 1999). The intensity of the disease changes from cycle to cycle in response to weather conditions. Today, integrated management schemes use information from the host, the pathogen and weather conditions as well, but none can alert or predict the onset of infection or pathogen development.

Dynamic models enable integration of the variables associated with pathosystem, besides calculating changes attributable to weather conditions to obtain sufficient information to support the application of products to control the disease. For this, we made a model that estimates the onset of infection and development of stripe rust of barley (*P. striiformis* f. sp. *hordei*) in the State of Guanajuato, in order to use it as a tool for decision in the prevention and management of this disease.

The work was done in the INIFAP (Campo Experimental Bajío) in Celaya, Guanajuato. The agroclimatic monitoring was conducted through the network of meteorological stations of Guanajuato Produce Foundation and portable stations Mark Davis. For developing the model a computer with OS (Windows 7) was used; software (Vensim® 5.6d), (SIMPEC and ESRI® ArcMap™ 10.0).

The model was constructed based on systems theory, using the methodology of system dynamics given by Rabbinge *et al.* (1989). The model calculates the deposition based on the initial spore inoculum secondary inoculum and then

marca Davis. Para elaborar el modelo se utilizó una computadora con SO (Windows 7); software (Vensim® 5.6d), (SIMPEC y ESRI® ArcMap™ 10.0).

El modelo se construyó en base a la teoría de sistemas, utilizando la metodología de dinámica de sistemas propuesta por Rabbinge *et al.* (1989). El modelo calcula la deposición de esporas en función del inóculo inicial y el inóculo secundario, posteriormente, calcula la germinación de esporas de acuerdo a las condiciones de temperatura (<=11 °C) y humedad relativa (>80%) y la frecuencia de infección, las esporas germinadas dan lugar a lesiones (pústulas) que producen nuevas esporas (inóculo secundario), finalmente la severidad se calcula dividiendo el área infectada entre el área foliar disponible y se multiplica por 100 para expresarla en porcentaje. El diagrama se muestra en la Figura 1. Para la calibración del modelo se utilizaron datos de monitoreo de severidad de roya lineal de cebada en el Campo Experimental Bajío del INIFAP.

Los datos corresponden a los ciclos otoño-invierno 2009-2010, 2010-2011, 2011-2012 y 2012-2013 en materiales de cebada susceptibles (Apizaco) y moderadamente susceptibles (Alina, Armida y Esperanza) a roya lineal. Se realizaron simulaciones para 5 fechas de siembra (1 de noviembre, 15 de noviembre, 1 de diciembre, 15 de diciembre y 1 de enero), y se hicieron las comparaciones correspondientes para cada fecha y cada ciclo. Se elaboró un mapa de riesgo de la enfermedad para el estado, mediante el método de interpolación IDW (inverse distance weighted), utilizando la base de datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN-CONAGUA), en función de los días que presentan condiciones favorables en el mes de febrero, resaltando los principales municipios en términos de producción de cebada. Para el análisis de clima se utilizó el software SIMPEC.

El total de las simulaciones se observa en el Cuadro 1, utilizando el valor máximo registrado por el modelo. El ciclo 2009-2010 fue un caso excepcional ya que se registraron fuertes lluvias en los primeros días de febrero y esto se vio reflejado en la severidad; en 2010-2011 no se presentaron condiciones extraordinarias; en 2011-2012 se registraron lluvias ligeras los primeros días de enero pero esto fue suficiente para favorecer las condiciones óptimas para el patógeno; finalmente el ciclo 2012-2013 registró 3 días de heladas muy tardías en marzo y esto resultó en un incremento en la severidad para las fechas de siembra tardías.

spore germination calculated according to the temperature conditions (<= 11 °C) and relative humidity (> 80%) and the frequency of infection, the germinated spores give rise to lesions (pustules) that produce new spores (secondary inoculum) finally severity is calculated by dividing the infected between the available leaf area and multiplied by 100 to express it as a percentage area. The diagram shown in Figure 1. For model calibration monitoring data stripe rust severity of barley were used in the Bajío Experimental INIFAP.

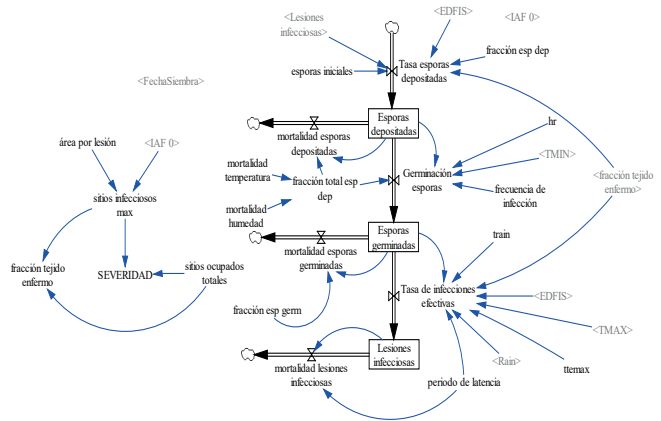


Figura 1. Diagrama del modelo de infección y desarrollo de *P. striiformis* f. sp. *hordei*, que muestra las interacciones y los tipos de variables.

Figure 1. Diagram model of infection and development of *P. striiformis* f. sp. *hordei*, showing the interactions and types of variables.

Data correspond to cycles autumn-winter 2009-2010, 2010-2011, 2011-2012 and 2012-2013 in materials susceptible (Apizaco) and moderately susceptible (Alina, Armida and Esperanza) to stripe rust. Simulations for five sowing dates (November 1, 15 November 1 December 15 December and 1 January) were performed, and the corresponding comparisons for each date and each cycle is made. A map of risk of disease for the Sate was developed by the interpolation method IDW (inverse distance weighted) using the database of the National Weather Service (NWS-CNA), depending on the days with favourable conditions on February, highlighting the main municipalities in terms of production of barley. For the analysis of climate the SIMPEC software was used.

The total of the simulations are shown in Table 1, using the maximum value recorded by the model. The 2009-2010 cycle was an exceptional case because heavy rains in early February were recorded and this was reflected in severity; in 2010-2011 no extraordinary conditions were presented; in 2011-2012 light rains were recorded the first days of January, but this was enough to promote optimal conditions for the

Cuadro 1. Datos de severidad de *P. striiformis* f. sp. *hordei* reales y simulados de diferentes variedades de cebada registrados en cinco fechas de siembra durante cuatro ciclos de cultivo.

Table 1. Severity data of *P. striiformis* f. sp. *hordei* real and simulated of different barley varieties registered in five sowing dates for four crop cycles.

Ciclo	Fecha de siembra	Severidad				
		Simulados	Apizaco	Alina	Armida	Esperanza
2009-2010	01- nov.	100	100	0	5	5
	15-nov.	100	100	0	10	10
	01-dic.	33	50	0	5	5
	15-dic.	22	20	0	0	5
	01-ene.	12	10	0	0	0
2010-2011	01-nov.	26	30	0	0	0
	15-nov.	12	10	0	0	0
	01-dic.	0.1	0	0	0	0
	15-dic.	0	0	0	0	0
	01-ene.	0	0	0	0	0
2011-2012	01-nov.	27	20	0	0	0
	15-nov.	99	70	0	0	10
	01-dic.	100	90	5	5	10
	15-dic.	100	90	0	5	10
	01-ene.	100	100	0	20	10
2012-2013	01-nov.	12	5	0	0	0
	15-nov.	23	10	0	0	0
	01-dic.	100	30	0	0	5
	15-dic.	100	80	0	0	5
	01-ene.	100	100	0	5	10

Los parámetros descritos en la literatura indican que la temperatura óptima para infección de roya lineal es 11 °C; sin embargo, los datos obtenidos en estos ciclos indicaban que la infección aumentaba cuando la temperatura descendía, por lo tanto, el modelo se ajustó de acuerdo a estas observaciones. Las simulaciones con el modelo para el ciclo 2009-2010, mostraron una alta relación con los datos observados en campo (Figuras 2 y 3), mostrando una R^2 de 0.96, para esto se utilizó el dato más alto de severidad registrado por el modelo. Lo cual indica que el ajuste del modelo resultó en una alta precisión.

En la Figura 4 se muestra el mapa de riesgo a roya lineal durante el mes de febrero, el análisis se realizó en los municipios que conforman la zona de producción de cebada de Guanajuato, la cual cubre los municipios de Valle de Santiago, Salamanca, Cortazar, Irapuato, Jaral del Progreso y Abasolo. Como puede observarse, toda la zona cebadera

pathogen; finally the 2012-2013 cycle recorded three days of very late frost in March and this resulted in an increase in severity for late planting dates.

The parameters described in the literature indicated that, the optimum temperature for stripe rust infection is 11 °C; however, these data obtained indicated that infection cycles increased when the temperature dropped, therefore, the model is adjusted according to these observations. Simulations with the model for the 2009-2010 cycle, showed a strong association with the data observed in the field (Figures 2 and 3), showing an R^2 of 0.96, for this the highest severity data recorded by the model was used. Which indicates the model fit resulted in a high accuracy.

In Figure 4, the risk map to stripe rust shows during the month of February, the analysis was conducted in the municipalities of the production area of Guanajuato, which covers the

presenta al menos 10 días con condiciones favorables para el patógeno, lo cual representa una alta probabilidad de que se presente la enfermedad.

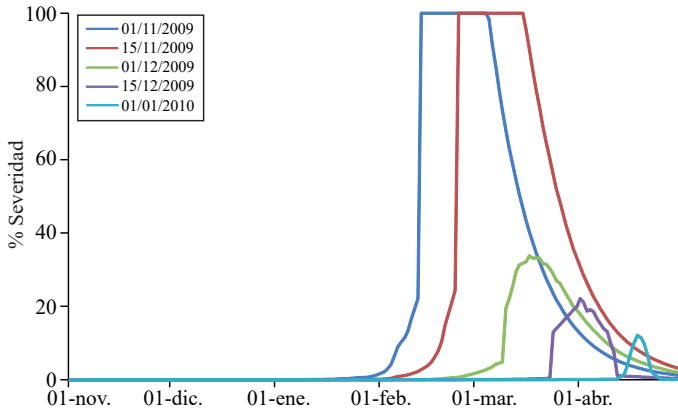


Figura 2. Gráfico de porcentaje de severidad simulada en cinco fechas de siembra para el ciclo 2009-2010 en la localidad de Celaya, Guanajuato.

Figure 2. Percentage graph of simulated severity in five planting dates for 2009-2010 in the city of Celaya, Guanajuato.

En particular el municipio de Valle de Santiago, así como algunas zonas de los municipios de Jaral del Progreso, Salamanca y Abasolo constituyen la zona de más alto riesgo a esta enfermedad, registrando más de 20 días con condiciones favorables para la infección en el mes de febrero.

Conclusiones

Los cambios en la incidencia y severidad de la roya lineal pueden ser muy contrastantes de un ciclo a otro y están directamente afectados por los cambios en las condiciones meteorológicas. El modelo de simulación generado es una herramienta que permite representar cuantitativamente estos cambios, facilitando el entendimiento de las variaciones en el comportamiento de esta enfermedad de un ciclo a otro, lo cual permite tomar medidas de control de manera oportuna.

Literatura citada

Islas, G. J.; Zamora, D. M.; Gámez, V. F. P. y Solano, H. S. 2008. Rentabilidad de la cebada de riego en El Bajío. III Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal.
 Rabbinge, R.; Ward, S. A. and van Laar H. H. 1989. Simulation and systems management in crop protection.

municipalities of Valle de Santiago, Salamanca, Cortazar, Irapuato, Jaral del Progreso and Abasolo. As shown, all the area has at least 10 days with favourable conditions for the pathogen, which is a high probability that the disease is present.

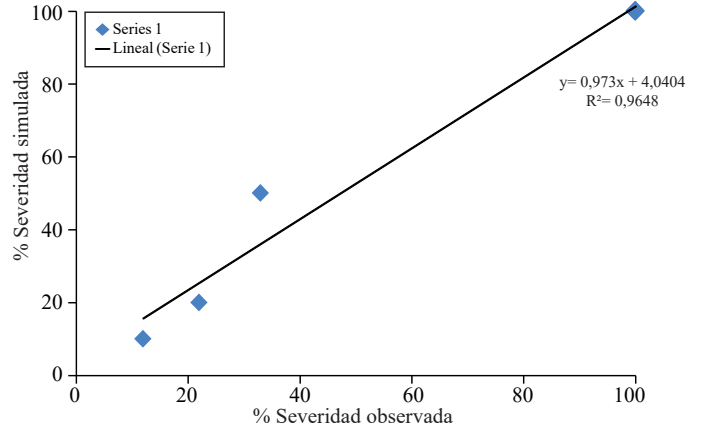


Figura 3. Gráfico de regresión lineal entre la severidad simulada y observada de roya lineal en cinco fechas de siembra en el ciclo 2009-2010 en la localidad de Celaya, Guanajuato.

Figure 3. Linear regression graph between the simulated and observed severity of stripe rust in five sowing dates in 2009-2010 in the city of Celaya, Guanajuato severity.

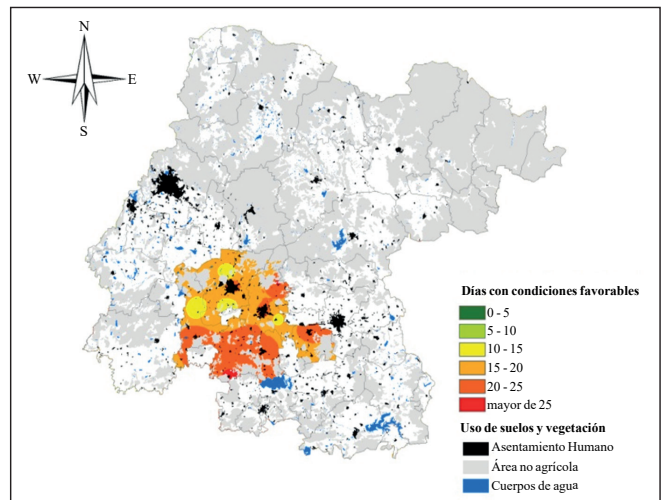


Figura 4. Delimitación de zonas de riesgo a roya lineal en Guanajuato, en función de los días con condiciones meteorológicas favorables para la infección en el mes de febrero.

Figure 4. Definition of risk areas to stripe rust in Guanajuato, depending on weather conditions favourable for infection in February.

In particular, the town of Valle de Santiago, as well as some areas of the municipalities of Jaral del Progreso, Salamanca and Abasolo area represent the highest risk for this condition, logging more than 20 days with favourable conditions for infection in the month of February.

- Roelfs, A. P.; Singh, R. P. and Saari, E. E. 1992. Las royas del trigo: conceptos y métodos para el manejo de esas enfermedades. CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo) El Batán, Estado de México. 81 p.
- Sandoval, I. J. S.; Osada, K. S.; Vivar, F. H. y Benítez, R. 1999. Correlación entre resistencia en plántula y resistencia en planta adulta a la roya amarilla y a la escaldadura de la cebada. *Agrociencia*. 33:415-422.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera)-SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2009. Anuario agrícola.
- Stubbs, R. W. 1988. Pathogenicity analysis of yellow (stripe) rust of wheat and its significance in a global context. *In*: breeding strategies for resistance to the rust of wheat. Simmonds, N. W. and Rajaram, S. (Eds). CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo) El Batán, Estado de México. 23-38 pp.

Conclusions

Changes on the incidence and severity of stripe rust can be quite contrasting from one cycle to another and are directly affected by changes in the weather. The simulation model generated is a tool to quantitatively represent these changes, facilitating the understanding of variations in the behaviour of this disease from one cycle to another, allowing control measures in a timely manner.

End of the English version

