

**ENFERMEDADES DE FIN DE CICLO Y MANCHA  
OJO DE RANA EN EL CULTIVO DE SOJA:  
DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE UN SISTEMA DE  
PUNTUACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL UMBRAL DE  
CONTROL**

**Marcelo Aníbal Carmona**

Trabajo de Tesis para ser presentado como requisito para optar al  
Título de **Doctorado de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales**

**Carrera de Doctorado de la Facultad de Ciencias  
Agrarias y Forestales**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA**

**La Plata, 10 de Febrero de 2014.**

**Buenos Aires, Argentina**

**ENFERMEDADES DE FIN DE CICLO Y MANCHA  
OJO DE RANA EN EL CULTIVO DE SOJA:  
DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE UN SISTEMA DE  
PUNTUACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL UMBRAL DE  
CONTROL**

**Ing. Agr. M. Sc. Marcelo Aníbal Carmona**

**Director de Tesis:** Dr. Erlei Melo Reis

**Co-Director:** Dra Cecília Mónaco.

## **DEDICATORIA**

**Dedico esta Tesis a:**

**Al Sagrado Corazón de Jesús**

**A mi querida familia y al recuerdo de mi padre José**

**A Silvana Di Núbila por su fuerza, amor y tolerancia,**

**A Lulita por su “compañerismo” y “ladridos” de apoyo**

## **AGRADECIMIENTOS**

- A** Erlei M Reis por su permanente enseñanza, dedicación y amistad
- A** Dora Barreto por su amistad y valiosa ayuda en mi formación fitopatológica
- A** Cecilia Mónaco por su estímulo
- A** la FAUBA y a la UNLP por posibilitarme esta maravillosa formación agronómica
- A** Francisco Sautua por su permanente ayuda en la realización del Doctorado
- A** Susana Perelman por su valiosa asistencia estadística
- A** Marcela Gally por su compañerismo, apoyo y por haber compartido la dirección y formación de los Ings. Agrs. Andres Abello y Pedro López Achaval
- A** los colegas Norma Formento (Inta Paraná), Daniel Ploper y su equipo: Victoria González y Vicente De Lisi (Obispo Colombres) Santiago Barberis, Diego Álvarez, Alex Ehrenhaus, Luisa Capelle, Gustavo Duarte, Cristian Brambilla, Martín Sanín, Diego Ortiz, Federico Esteban José, José Carlos Zanoni, por la valiosa ayuda en los ensayos de validación
- A** la Ing. Agr. Laura Gaido por su invaluable colaboración en el ensayo de campo de MOR; a la Dra. Mercedes Scandiani por su ayuda en los análisis de semilla, a la Dra Alicia Luque (CEREMIC) por su colaboración en la caracterización de los aislamientos, a los Ings. Agrs. Carlos Grosso y Pablo Ponzio de VMV Siembras por su asistencia técnica;
- A** la empresa Syngenta por su apoyo en los ensayos del Capítulo I
- A** la empresa Bayer (Ings. Agrs. Earle Gastaldi, Luciano Lecumberri) por su apoyo técnico – económico en los ensayos de validación y de MOR
- A** mis Becarios de la UBA por su ayuda en la Edición (Natalia Tobar, Agustina Elesgaray y Marcos Andreatta)

## **INDICE GENERAL**

Índice General .....	5
Índice de Tablas, fotografías y Figuras.....	7
Resumen .....	15
Abstract.....	17
Introducción general .....	19
Objetivo general.....	24
Hipotesis.....	25
Bibliografía.....	26
<b>Capítulo 1:</b> Enfermedades de fin de ciclo: Relación entre las precipitaciones pluviales y la respuesta al rendimiento por el uso de fungicidas.....	30
Introducción.....	30
Materiales y métodos.....	44
Resultados.....	49
Discusión .....	63
Conclusiones del Capítulo 1 .....	72
Bibliografía Capítulo 1.....	74
<b>Capítulo 2:</b> Desarrollo y validación de un sistema de puntuación para el	85

manejo químico de las EFC.....	
Introducción .....	85
Materiales y métodos.....	92
Resultados.....	95
Discusión .....	107
Conclusiones del Capítulo 2.....	113
Bibliografía del Capítulo 2.....	114
<b>Capítulo 3: Mancha ojo de rana (MOR): Determinación del umbral de control..</b>	<b>122</b>
Introducción .....	122
Materiales y métodos.....	132
Resultados.....	139
Discusión .....	159
Conclusiones del Capítulo 3.....	167
Bibliografía del Capítulo 3 .....	169
Consideraciones finales .....	175
Anexo de publicaciones .....	177
Anexo estadístico .....	181

## **INDICE DE TABLAS, FOTOGRAFÍAS Y FIGURAS**

### **Capítulo 1**

<b>Fotografía 1.</b> Síntomas foliares típicos de la mancha marrón causada por <i>Septoria glycines</i> .....	33
<b>Figura 1.</b> Ciclo de la mancha marrón causada por <i>Septoria glycines</i> .....	34
<b>Fotografía 2:</b> Síntomas foliares típicos del tizón morado causado por <i>Cercospora kikuchii</i> .....	36
<b>Figura 2.</b> Ciclo del tizón púrpura causado por <i>Cercospora kikuchii</i> .....	37
<b>Figura 3.</b> Ubicación geográfica del área donde se llevaron a cabo los ensayos. ....	48
<b>Figura 4.</b> Prevalencia de cada patógeno en los 18 ensayos involucrados.....	50
<b>Figura 5.</b> Incidencia de cada patógeno en discos foliolares (Tratamientos testigos) 6 ensayos Campaña 2003/04.....	50
<b>Figura 6.</b> Incidencia de cada patógeno en discos foliolares (tratamientos testigos) 6 ensayos Campaña 2004/05.....	51
<b>Figura 7.</b> Incidencia de cada patógeno en discos foliolares (tratamientos testigos) 6 ensayos Campaña 2005/06.....	51
<b>Figura 8.</b> Incidencia de cada patógeno en discos foliolares (tratamientos químicos) 6 ensayos Campaña 2003/04.....	52

<b>Figura 9.</b> Incidencia de cada patógeno en discos foliolares (tratamientos químicos). 6 ensayos Campaña 2004/05.....	52
<b>Figura 10.</b> Incidencia de cada patógeno en discos foliolares (tratamientos químicos). 6 ensayos Campaña 2005/06.....	53
<b>Tabla 1.</b> Campaña agrícola, localidad, variedad, marca comercial, ingredientes activos y dosis de aplicación de fungicidas utilizados en los ensayos, y severidad (Sev.) de las EFC en R7 para las parcelas que recibieron aplicación en R3 y las que recibieron aplicaciones en R5.....	53
<b>Tabla 2.</b> Respuestas de rendimiento de soja frente a aplicaciones de fungicida (Rendimiento de parcelas tratadas menos rendimiento de parcelas control sin aplicación) en R3 o R5 y precipitaciones medias acumuladas para los períodos R1-R3, R3-R5 y R1-R5 en tres campañas agrícolas. Las medias derivan de información recolectada de todas las localidades dentro de una campaña y tratamiento.....	56
<b>Figura 11.</b> Relación entre rendimiento (kg/ha) obtenido y severidad estimada en R6-R7 en parcelas testigo y aplicadas en R3 para las tres campañas.....	57
<b>Figura 12.</b> Relación entre rendimiento (kg/ha) obtenido y severidad estimada de las EFC en R6-R7 en parcelas testigo y aplicadas en R5 para las tres campañas.....	57
<b>Figura 13.</b> Relación entre la severidad estimada en parcelas testigo y la precipitación pluvial ocurrida entre R3-R5 para las tres campañas.....	58

**Figura 14.** Relación entre el rendimiento de granos de soja en parcelas tratadas y no tratadas. Las medias derivan de información recolectada de todas las localidades, todas las campañas agrícolas, todos los momentos de aplicación y todos los fungicidas. .... 59

**Figura 15.** Respuesta media de rendimiento de granos de soja frente a la aplicación de fungicida (Rendimiento de parcelas tratadas menos rendimiento de parcelas control sin aplicación, expresada en kg/ha) para tres campañas agrícolas: **(a)** para dos tipos de fungicidas: tipo A = azoxistrobina + ciproconazole; tipo B = ciproconazole + difenoconazole en 2006 y 2005, difenoconazole + propiconazole en 2004; **(b)** para dos momentos de aplicación distintos (R3 y R5)..... 60

**Figura 16.** Relación entre las respuestas de rendimiento de granos de soja (Rendimiento de parcelas tratadas menos rendimiento de parcelas control sin aplicación) a la aplicación de fungicida, y la lluvia media acumulada entre los estadios fenológicos R3-R5, para aplicaciones realizadas en: (a) R3; (b) R5. Todos los tipos de fungicidas fueron incluidos en el análisis..... 61

**Tabla 3.** Coeficientes de determinación ( $R^2$ ) para las regresiones lineales de análisis de las respuestas de rendimiento de granos de soja (Rendimiento de parcelas tratadas menos rendimiento de parcelas control sin aplicación) a la aplicación de fungicida y la precipitación media acumulada (mm) entre diferentes estados de fenológicos (R3 a R5, R4 a R6, R4 a R6.5, R3 a R6.5, R1 a R3, VE a R5 y VE a R6.5), para dos mezclas de fungicidas aplicadas en dos estadios fenológicos distintos (R3 o R5). VE = emergencia (Fehr & Caviness, 1977)..... 63

## **Capítulo 2**

<b>Tabla 1.</b> Sistema de Puntuación propuesto para asistir la toma de decisión de aplicación de fungicida en Soja para el manejo de las EFC..	98
<b>Tabla 2.</b> Datos de año de cosecha, variedad, tratamiento, rendimiento, respuesta en rendimiento, decisión arrojada por el sistema de puntuación (SP) y margen neto correspondiente a 19 ensayos de validación llevados a cabo en Argentina.....	101
<b>Figura 1.</b> Rendimientos obtenidos en las parcelas testigo, aplicación en R3 y R5 de 3 ensayos donde el sistema recomendó no aplicar.....	104
<b>Figura 2.</b> Rendimientos según las localidades involucradas en los ensayos donde el sistema recomendó no aplicar.....	104
<b>Figura 3.</b> Rendimientos obtenidos en las parcelas testigo, aplicación en R3 y R5 de 6 ensayos donde el sistema recomendó aplicar en R3...	105
<b>Figura 4.</b> Rendimientos según las localidades involucradas en los ensayos donde el sistema recomendó aplicar en R3.....	105
<b>Figura 5.</b> Rendimientos obtenidos en las parcelas testigo, aplicación en R3, R4 y R5 de 6 ensayos donde el sistema recomendó aplicar en R4.....	106
<b>Figura 6.</b> Rendimientos según las localidades involucradas en los ensayos donde el sistema de puntuación recomendó aplicar en R4.....	106
<b>Figura 7.</b> Rendimientos obtenidos en las parcelas testigo, aplicación en R3, y R5 de 4 ensayos donde el sistema recomendó aplicar en R5...	107

<b>Figura 8.</b> Rendimientos según las localidades involucradas en los ensayos donde el sistema de puntuación recomendó aplicar en R5.....	107
---	-----

### **Capítulo 3**

<b>Fotografía 1.</b> Manchas foliares sin halo clorótico causadas por <i>Cercospora sojina</i> (Autor. Silvana Di Núbila).....	125
--	-----

<b>Fotografía 2.</b> Fructificaciones de <i>Cercospora sojina</i> sobre la lesión (Autor. Silvana Di Núbila).....	126
---	-----

<b>Fotografías 3 y 4.</b> Lesiones perforadas causadas por la MOR (Autor. Silvana Di Núbila).....	127
---	-----

<b>Fotografías 5 y 6.</b> Lesión de la MOR en vaina de soja e infección de semilla (Autor. Silvana Di Núbila).....	128
--	-----

<b>Figura 1.</b> Ciclo de la mancha ojo de rana causada por <i>Cercospora sojina</i> .....	129
--	-----

<b>Figura 2.</b> Plano del ensayo mostrando la disposición de los tratamientos y bloques. El Trébol, 2010.....	135
--	-----

<b>Figura 3.</b> Representación gráfica hipotética de la obtención de gradiente de la MOR y del rendimiento de granos de soja para la obtención de los UDE.....	135
---	-----

<b>Fotografía 7.</b> Colonia de <i>Cercospora sojina</i> en APG.....	140
--	-----

<b>Fotografía 8.</b> Conidios y conidióforos de <i>Cercospora sojina</i> (coloreados con azul de algodón).....	140
--	-----

<b>Figura 4.</b> Precipitaciones pluviales mensuales acumuladas en el sitio del ensayo (diciembre 2010-abril 2011).....	141
<b>Figura 5.</b> Progreso temporal de <i>Cercospora sojina</i> . Número de manchas por folíolo promedio de ambos estratos.....	142
<b>Figura 6.</b> Progreso temporal de <i>Cercospora sojina</i> . Círculos muestran la curva de progreso correspondiente al estrato inferior de la planta y cuadrados muestran la curva de progreso correspondiente al estrato superior.....	143
<b>Figura 7.</b> Curva epidemiológica ajustada de la MOR tratamiento testigo.....	143
<b>Fotografía 9.</b> Gradiente de MOR sobre folíolos de diferentes tratamientos (Autor. Silvana Di Núbila).....	145
<b>Tabla 1.</b> Número de manchas promedio obtenidos en cada tratamiento, para cada estado fenológico reproductivo, referidos al estrato medio inferior, superior y promedio de ambos.....	145
<b>Figura 8.</b> Evolución del número de manchas por folíolo promedio para los diferentes tratamientos químicos.....	146
<b>Figura 9.</b> Evolución del número de manchas por folíolo en el estrato superior para los diferentes tratamientos químicos.....	147
<b>Figura 10.</b> Evolución del número de manchas por folíolo en el estrato inferior para los diferentes tratamientos químicos.....	148

<b>Figura 11.</b> Tamaño medio de lesiones de la MOR evaluada en el estado R3 en el estrato inferior, superior y promedio de ambos, en los diferentes tratamientos.....	149
<b>Figura 12.</b> Tamaño medio de lesiones de la MOR evaluada en el estado R4 en el estrato inferior, superior y promedio de ambos, en los diferentes tratamientos.....	149
<b>Figura 13.</b> Tamaño medio de lesiones de la MOR evaluada en el estado R5 en el estrato inferior, superior y promedio de ambos, en los diferentes tratamientos.....	150
<b>Tabla 2.</b> Porcentajes de control obtenidos para cada tratamientos, momento y estrato foliar de evaluación.....	151
<b>Tabla 3.</b> Valores de ABCPE obtenidos en cada tratamiento, estrato foliar y promedio.....	152
<b>Figuras 14.</b> Área bajo la curva del progreso de mancha ojo de rana en los diferentes tratamientos por estrato y promedio.....	152
<b>Figuras 15.</b> Área bajo la curva del progreso de mancha ojo de rana en los diferentes tratamientos por estrato y promedio.....	153
<b>Figuras 16.</b> Área bajo la curva del progreso de mancha ojo de rana en los diferentes tratamientos por estrato y promedio.....	153
<b>Figura 17.</b> Rendimiento (kg/ha) obtenidos para cada tratamiento.....	154
<b>Figura 18.</b> Diferencia en rendimiento (kg/ha) en relación al testigo sin aplicar para los diferentes tratamientos químicos.....	154

<b>Figura 19.</b> Peso (g) de 1000 granos para los diferentes tratamientos....	155
<b>Tabla 4.</b> Valores de función de daño, coeficiente de determinación, valor $p$ , Coeficiente de daño, UDE y UDA para un cultivo de soja de 4Tn cuyo precio sea de 320 USD/Tn, a un costo de control de 25 USD/ha con una eficiencia de control del 70 % para estrato foliolar inferior superior y promedio de ambos y para los principales estadios fenológicos reproductivos.....	157
<b>Tabla 5.</b> Incidencia (%) (Porcentaje de infección) de <i>Cercospora sojina</i> en semilla en los tratamientos.....	158
<b>Tabla 6.</b> Poder germinativo (%), plántulas anormales (n°) y semillas muertas (n°) en los tratamientos.....	158

## RESUMEN

La combinación de la siembra directa con el monocultivo, junto con los cambios climáticos y la difusión de genotipos susceptibles, han generado las condiciones óptimas para que los patógenos necrotróficos, que sobreviven en los rastrojos sean anualmente responsables por daños y pérdidas significativas en el cultivo de soja. Dentro de este grupo de enfermedades, deben destacarse por su prevalencia y severidad, a las enfermedades de fin de ciclo (EFC) y a la mancha ojo de rana (MOR), Entre las prácticas para su manejo, deben mencionarse a la rotación de cultivos, tratamiento químico de semillas, resistencia genética, y el uso de fungicidas en órganos aéreos. Esta última medida se ha incrementado considerablemente como respuesta al aumento del potencial de inóculo sobre variedades susceptibles y bajo monocultivo. Sin embargo, la determinación del momento oportuno de la aplicación de fungicidas para el manejo de estas enfermedades no resulta una tarea sencilla y práctica. Existe una gran complejidad en el abordaje de su estudio con variadas dificultades que deben enfrentarse principalmente cuando el objetivo es asistir a los productores y asesores con metodologías prácticas que aseguren la sustentabilidad económica y ambiental. A pesar de que muchos investigadores están de acuerdo en que los fungicidas deberían ser aplicados durante el período crítico de generación del rendimiento del cultivo de soja, no fue posible encontrar información científica publicada sobre el momento más apropiado de aplicación de fungicidas, dentro de esa amplia ventana fisiológica de aplicación, que relacione ambiente, epidemiología, daños y umbrales. Los objetivos de este trabajo fueron a) generar criterios de uso de fungicidas para el manejo químico sustentable de las EFC y la MOR en el cultivo de soja, b) cuantificar sus daños, c) elaborar y validar un sistema de puntuación que permita definir el momento más eficiente de aplicación para las EFC, y d) determinar los umbrales de control para la MOR. Para ello, se realizaron y analizaron numerosos ensayos de campo provenientes de zonas agro-ecológicas diferentes.

Para el caso de las EFC, los resultados demostraron que la respuesta al uso de fungicidas (kg/ha) dependió de la ocurrencia de lluvias entre R3-R5 y no de las que ocurrieron entre R1-R3, por lo tanto dependiendo de las condiciones ambientales, la aplicación de fungicida podría realizarse en R3, R4 o R5. Una vez que se logró identificar el factor ambiental y el período fenológico que estadísticamente se asociaron con el impacto en los rendimientos por el uso de fungicidas, la siguiente etapa fue la de desarrollar un sistema de puntuación basado en la ponderación de diferentes factores agronómicos. Dicho sistema contó con 10 factores de valoración relativa y permitió proponer una herramienta fácil, práctica y dinámica para orientar la decisión de control químico. Los ensayos de validación del sistema de puntuación llevados a cabo en localidades y campañas agrícolas diferentes, permitieron analizar el impacto en el rendimiento agronómico y en la rentabilidad lograda, cuando se utilizó el sistema de puntuación en comparación con las aplicaciones fenológicas fijas de R3, R5 y con un testigo sin aplicación química. Cuando el sistema recomendó no aplicar, los rendimientos que fueron obtenidos en los tratamientos de R3 y R5 no se diferenciaron de los del testigo, indicando que no se justificaba aplicar. Por otro lado, se demostró que algunos ensayos mostraron el mayor impacto por el uso de fungicidas cuando se realizaron las aplicaciones en R3 ó R4 ó R5 y que su decisión final dependió de la puntuación arrojada por el sistema en cada ensayo, demostrando que la aplicación regida exclusivamente por fenología rígida y estricta, no resulta en una alternativa técnica fundamentada para orientar el momento de la pulverización. Para el estudio de la MOR, se lograron estimar los daños y generar recomendaciones para su manejo mediante umbrales de control. El número de lesiones por folíolo central constituyó una medida objetiva, rápida y sencilla para cuantificar la epidemia y desarrollar los diferentes UDE. De esta manera los resultados epidemiológicos obtenidos indican que la MOR no debe ser considerada una clásica EFC debido a su comportamiento policíclico. Para diferentes estadios reproductivos de la soja y para cada estrato foliar considerado, se propusieron umbrales de daño móviles que serán

de utilidad para enmarcar el uso de fungicidas dentro de un programa de manejo Integrado.

## **ABSTRACT**

The combination of no-tillage techniques with monoculture, together with the climate changes and spread of susceptible genotypes, has generated optimal conditions for the survival of necrotrophic pathogens in stubbles, which are responsible for significant damage and losses in the soybean crop every year. Due to their prevalence and intensity, the main diseases caused by these pathogens include the so-called late season soybean diseases (LSD) and the frog-eye leaf spot (FLS). The frequent practices for integrated management of crop diseases include: crop rotation, chemical seed treatment, genetic resistance, and the use of fungicides. Chemical control has increased considerably in response to the increase in the inoculum potential on susceptible varieties under monoculture. However, determining the timing of fungicide applications is not a simple task. It includes several difficulties that must be considered especially when the goal is to assist producers and advisors with practical recommendations that ensure economic and environmental sustainability. Although many researchers agree that fungicides should be applied during the critical period that determines soybean yield, there is lack of information regarding which is the most appropriate time to apply them and relating the environment, epidemiology, damage and thresholds within the window of soybean plant development. The objectives of this study were: a) to generate criteria for the use of fungicides for sustainable management of LSD and FLS in soybean crops, b) to quantify their damage, c) to develop and validate a point system to define the most efficient time of application for LSD control, and d) to determine the control thresholds for FLS. To this end, numerous field trials were performed and analyzed in different agro-ecological zones. The results for the LSD suggest that the response to fungicides is a function of the accumulated

rainfall from R3 to R5, but not of the rain accumulated in the R1-R3 period. Therefore, depending on the environmental conditions, fungicide application could be performed at R3, R4 or R5. After identifying the weather variables and the phenological period statistically associated with the impact of fungicides on yields, the next step was to develop a decision model based on scoring various agronomic and biological factors. This system had 10 relative valuation factors and allowed the development of an easy, practical and dynamic tool to decide fungicide application to control LSD. The validation tests carried out in different locations and cropping seasons allowed analyzing the impact on yield and profitability achieved when comparing the scoring system with fixed phenological applications at R3 and R5 and a control without chemical application. When the system advised not to apply fungicides, the yields obtained by applying fungicides at R3 and R5 did not differ from those of the control, indicating that fungicide application was not justified. In addition, some trials demonstrated that when fungicides were applied at R3, R4 or R5, as suggested by the decision system according to the score accumulated in each trial, their impact was higher than when they were applied following the calendar application. In the case of FLS, damage was estimated and the economic damage threshold (EDT) to guide fungicide application was generated. The number of spots per central leaflet was an objective, fast and simple measure to quantify the epidemic and to develop the various EDT. Thus, the epidemiological results obtained indicate that, due to its polycyclic behavior, FLS should not be considered as a typical LSD. In conclusion, we were able to propose mobile damage thresholds for the different reproductive stages of soybean and foliar strata, which will be useful to frame the use of fungicides in an integrated management program.

# **ENFERMEDADES DE FIN DE CICLO Y MANCHA OJO DE RANA EN EL CULTIVO DE SOJA: DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE UN SISTEMA DE PUNTUACION Y DETERMINACIÓN DEL UMBRAL DE CONTROL**

## **INTRODUCCION GENERAL**

La soja [*Glycine max*(L.) Merrill] es uno de los cultivos más importantes de la Argentina si se hace referencia al incremento de superficie sembrada, producción, rentabilidad e ingresos de divisas extranjeras a la economía nacional (Vilella et al., 2010).

Durante la campaña 2010/11 este cultivo ocupó 18,8 millones de hectáreas con una producción estimada en 48.9 millones de toneladas (SAGPyA, 2012) convirtiéndolo en el de mayor superficie sembrada del país. La casi totalidad de la superficie de soja corresponde con cultivares modificados genéticamente y gran parte se realiza bajo monocultivo y siembra directa (SD).

Numerosos son los factores que pueden limitar la producción y la calidad de granos del cultivo de soja, entre los que se pueden mencionar: al manejo del suelo y del cultivo, a las condiciones ambientales desfavorables, a los agentes bióticos como enfermedades, malezas y plagas, etc. Entre todos ellos, deben destacarse por su importancia, a las enfermedades (Hartman et al., 1999). Se han descrito más de 40 enfermedades que afectan al cultivo de soja (Ploper et al., 2008), entre las cuales, las causadas por patógenos necrotróficos, deben ser consideradas especialmente. La combinación de la SD con el monocultivo, en conjunto con los cambios climáticos y la difusión de genotipos susceptibles han generado las condiciones óptimas para que los patógenos necrotróficos, que sobreviven en los rastrojos, sean anualmente responsables de significativos daños y pérdidas. Dentro de este grupo de enfermedades, deben destacarse por su prevalencia y severidad, a las enfermedades de fin de ciclo (EFC) (Díaz et al., 2005) y a la mancha ojo de rana (MOR), que afectan

hojas, tallos, vainas y semillas (Formento et al., 2009; Distéfano & Gadban 2009a, Marinelli et al., 2011).

De acuerdo con diversos autores (Carmona, et al., 2004; Ploper et al., 2008; Formento et al., 2009), las enfermedades de fin de ciclo de mayor frecuencia en Argentina son: tizón de la hoja y mancha púrpura de la semillas [*Cercospora kikuchii* (T. Matsu & Tomoyasu) Gardner], antracnosis [*Glomerella glycines* (Hori) Lehman & Wolf]; [*Colletotrichum truncatum* (Schw.) Andrews & WD Moore], mancha marrón (*Septoria glycines* Hemmi), tizón de la vaina y tallo (*Phomopsis spp.*), mildiu (*Peronospora manshurica* (Naum.) Syd: Gäum), mancha anillada [*Corynespora cassicola* (Berk & Curt.) Wei], mancha foliar por *Alternaria* (*Alternaria spp.*), pústula bacteriana [*Xanthomonas campestris* pv *glycines* (Nakano) Dye.] y tizón bacteriano [*Pseudomonas siringae* pv *glycinea* (Coerper) Young, Dye & Wilkie]. Dentro de este complejo grupo de patógenos es necesario distinguir a aquellos que afectan principalmente hojas de los que afectan especialmente tallos, vainas y semillas. Los patógenos fúngicos foliares más frecuentemente encontrados en la Región pampeana son *S. glycines* y *C. kikuchii*, mientras que en tallos, vainas semillas y también pecíolos, son *Phomopsis spp.*, *C. truncatum* y *C. kikuchii*. Sin embargo, es posible encontrar fructificaciones de *C. truncatum*, *G. glycines* y *Phomopsis spp* también en hojas y otras partes de la planta asintomáticas, cuando la mismas son incubadas o sometidas a un tratamientos con algún disecante (Kulik, 1984; Sinclair, 1991; Klingelfuss, & Yorinori, 2001; Larran et al., 2002).

Además de estas enfermedades hay que considerar a la MOR causada por *Cercospora sojina* Hara como una de las enfermedad foliares más importantes en el cultivo de soja, debido a su carácter explosivo, y las pérdidas significativas que generó en las últimas campañas, (Carmona et al., 2009).

De esta manera mientras las EFC causan un daño promedio de 10 % con un máximo de hasta el 30 % (Wrather et al., 2001), la MOR puede causar daños de 30 al 50 % e incluso hasta más del 70 % en variedades susceptibles (Distéfano & Gadbán

2009 a y b; Carmona et al., 2010). Las pérdidas causadas por esta enfermedad fueron estimadas en aproximadamente 2000 millones de dólares, convirtiéndola en la enfermedad de mayor importancia de la historia de soja en nuestro país (Odetto & Baigorri, 2010).

En relación al manejo de estas enfermedades, las principales estrategias para el control incluyen el uso de cultivares tolerantes para EFC o resistentes a MOR, tratamiento con fungicidas en semillas y follaje y el uso de prácticas culturales (rotación de cultivos, fechas de siembra) (Ploper et al., 2001; Hoffman et al., 2004; da Costa, 2005). Para el futuro se estima que la tendencia del monocultivo bajo SD continuará creciendo y por ende la importancia de las EFC y de la MOR, y con esto la necesidad de control con fungicidas. Si el incremento de los necrotróficos bajo monocultivo se confirma, el control químico para los próximos años será una técnica de mayor difusión en el país. Para el caso especial de la MOR, el control químico es una de las alternativas disponible en expansión para evitar los daños en variedades susceptibles que actualmente representan un elevado porcentaje del área sembrada en la región pampeana (Rossi, com pers; Scandiani et al., 2010).

A diferencia de lo que sucede en Brasil, Paraguay y Bolivia, donde la roya asiática, causada por *Phakopsora pachyrhizi* S. & P. Syd., genera preocupación permanente y es la principal enfermedad que orienta el control químico, en Argentina las EFC y desde 2009 también la MOR, son las enfermedades que suelen controlarse con productos químicos.

Las EFC poseen características particulares que las diferencian de aquellas que los productores y técnicos están acostumbrados a manejar en los cultivos extensivos: una de ellas es que la mayoría de sus síntomas se manifiestan en estados reproductivos intermedios y avanzados (Ivancovich & Botta, 2003; Arias et al., 2003, Formento et al., 2005). Si bien los síntomas que causan se tornan más conspicuos en etapas reproductivas, intermedias y avanzadas del cultivo, la mayoría de los patógenos que las provocan están presentes en etapas previas, en algunos casos

provocando infecciones latentes sin posibilidad de observación directa a campo (asintomáticas) con prolongados periodos de incubación (Sinclair, 1991; Klingelfuss & Yorinori, 2001; Carmona, 2006). Como consecuencia de lo anterior hay un aumento de la severidad hacia el fin de ciclo que incluso se puede confundir con la senescencia natural, pudiendo muchas veces pasar desapercibido, lo que dificulta la toma de decisión.

Esta característica de latencia es de gran importancia debido a que la espera de la visualización de los síntomas y fructificaciones (como se acostumbra hacer para otras enfermedades en cultivos como trigo, maíz o cebada) puede llevar a aplicar fungicidas cuando el período crítico de generación de rendimiento del cultivo de soja haya pasado y por ello no lograr el impacto deseado. Por eso, el manejo químico de las enfermedades en soja debería contar con mas investigación para que el incremento en el uso de fungicidas en Argentina pueda orientarse en forma técnica, rentable y sustentable, debido a que actualmente gran parte de las decisiones están frecuentemente regulados por el estado fenológico del cultivo (visión fito-céntrica que indica aplicar en R3 o R5) o por el precio de la tonelada de soja, obteniendo resultados erráticos e inestables y muy vinculados las condiciones ambientales.

Este problema debería ser resuelto mediante el desarrollo de conocimiento y tecnología que permita indicar con precisión el momento de la aplicación de fungicidas, su relación con el ambiente (Swoboda & Pedersen; 2009) y garantizar un uso racional de productos y el retorno económico al productor. Algunas experiencias en EEUU (Backman et al., 1979; Backman et al.1984; Stuckey et al., 1981; Tekrony et al., 1985; Kirby et al., 1992), mostraron la utilidad de contar con un sistema que relaciona epidemiología con el ambiente y factores agronómicos para orientar las aplicaciones y disminuir la incertidumbre. Algunos de ellos, además anuncian las infecciones venideras en función de la relación fuente de inóculo y condiciones ambientales ya ocurridas.

Por lo tanto, ante la falta de antecedentes en el país relacionados con la temática propuesta, resulta muy útil cuantificar y ponderar el impacto e influencia del ambiente, y de factores agronómicos en la epidemiología de estas enfermedades y en la generación del rendimiento del cultivo, con el fin de orientar las aplicaciones químicas mediante el desarrollo y validación de un sistema de puntuación con información proveniente de experiencias nacionales.

Para el caso de la MOR, si bien existieron epidemias previas en el NOA y algunas experiencias con fungicidas (Ploper et al., 2000), la gravedad y la superficie de cultivos de soja atacada por esta enfermedad resultaron de mayor magnitud de daños y pérdidas para el país. De esta forma, y debido a su carácter explosivo y epidemias inesperadas, el panorama futuro para la MOR es aún más incierto y de mayor necesidad de investigación. Por ello resulta imprescindible elaborar el umbral de daño económico (UDE) y de acción (UDA) para esta enfermedad a través de ensayos específicos, para que el uso de fungicidas, principal herramienta de manejo emergencial y actual, sea eficiente y ambientalmente compatible y sustentable. De acuerdo a la bibliografía consultada (Yorinori, 1989; Akem, 1995; Yorinori Com Pers), no existen antecedentes bibliográficos relacionados con la determinación de los umbrales de control químico para la MOR.

Por todo lo expuesto, en este trabajo se propuso a) generar los criterios de uso de fungicidas para el manejo químico sustentable de las enfermedades foliares más importantes del cultivo de soja, b) cuantificar sus daños, c) elaborar y validar un sistema de puntuación que permita definir el momento más eficiente de aplicación para las EFC, y d) determinar los umbrales de control para la MOR.

## **Objetivo general**

Generar criterios de manejo químico sustentable con fungicidas con el fin de reducir los daños y pérdidas de rendimiento ocasionadas por las enfermedades foliares de la soja con especial referencia a las enfermedades de fin de ciclo y a la mancha ojo de rana.

## **Objetivos específicos:**

- 1) Valorar el impacto del uso de fungicidas para el control de las EFC principalmente sobre la mancha marrón y el tizón púrpura.
  
- 2) Estudiar la relación funcional entre lluvias, rendimiento y las EFC identificando las precipitaciones pluviales (momento e intensidad de ocurrencia) que mejor se asocien estadísticamente con la respuesta a los fungicidas.
  
- 3) Desarrollar y validar a campo un sistema de puntuación para el uso de fungicidas para las EFC, principalmente para la mancha marrón y el tizón púrpura.
  
- 4) Cuantificar los daños y pérdidas causados por la MOR.
  
- 5) Desarrollar el umbral de daño para la orientación racional de fungicidas en el control de la MOR.

## **Hipótesis**

La respuesta en (kg/ha) obtenida por el uso de fungicidas aplicados para el control de las EFC, está vinculada con la ocurrencia de lluvias entre R1-R3 o R3-R5 (Fehr & Caviness, 1977).

La valoración numérica de factores ambientales y agronómicos permiten elaborar un sistema de puntuación que oriente la aplicación de fungicidas para las EFC, principalmente para la mancha marrón y tizón púrpura.

La validación de dicho sistema en diferentes años y regiones muestra que las recomendaciones propuestas siempre generan los mayores rendimientos y márgenes netos, independientemente de la localidad y año considerado.

La cuantificación de la intensidad en gradiente de la MOR mediante el número de manchas por folíolo, es útil para determinar la función de daño de la enfermedad y desarrollar el umbral de daño económico para la orientación del uso de fungicidas.

## **Organización de la Tesis**

Para una mejor presentación, lectura y comprensión de los temas a abordar, esta Tesis se dividió en tres capítulos. El Capítulo I y II comprenden a las EFC y el Capítulo III, específicamente a la MOR. Los objetivos específicos 1 y 2 fueron desarrollados en el Capítulo I, el objetivo 3 en el Capítulo II, y los objetivos 4 y 5 en el Capítulo III. Hacia el final se incorporó el anexo de las publicaciones y el anexo estadístico dividido por Capítulo.

## **BIBLIOGRAFIA**

**Akem, C.N.** 1995. The effect of timing of fungicide applications on control of frog eye leaf spot and grain yield of soybeans. *European Journal of Plant Pathology* 101: 183-187.

**Arias, N., N. Pelossi, D.E.J. Battista, & M. Carmona.** 2003. Control químico de enfermedades de fin de ciclo en soja. Cultivo de soja en el centro este de Entre Ríos Resultados 2002-2003. INTA EEA Concepción del Uruguay. Boletín Técnico N° 44. pp: 57-63.

**Backman, P., R. Rodríguez Cabaña, J.M. Hammond & D.L. Turlow.** 1979. Cultivar, environment and fungicide effects on foliar disease losses in soybean. *Phytopathology* 69: 562-564.

**Backman, P.A., M.A. Crawford & J.M. Hammond.** 1984. Comparison of meteorological and standardized timings of fungicide applications for soybean disease control. *Plant Disease* 68: 44-46.

**Carmona, M.** 2006. Importancia de las enfermedades de fin de ciclo: su relación con la ecofisiología y el uso estratégico de fungicidas en el cultivo de soja. Proceedings of Mercosoja 2006, 3er Congreso de Soja del Mercosur, Workshop de enfermedades de hoja, tallo y raíz. ACCSOJA, Rosário. pp. 321-324.

**Carmona, M., M. Gally, P. Grijalba, V. Sugia & E. Jaeggi.** 2004. Frequency and chemical control of causal pathogens of soybean late season diseases in the Pampeana Region. Proceedings of 7th World Soybean Research Conference, 4th International Soybean Processing and Utilization Conference, Congresso Mundial de Soja. EMBRAPA, Foz de Iguazú, Brasil. p. 159.

**Carmona, M., M. Scandiani & A. Luque.** 2009. Severe Outbreaks of Soybean Frog-eye Leaf Spot Caused by *Cercospora sojina* in the Pampean Region, Argentina. *Plant Disease* 92(9): 966.

**Carmona, M., N. Formento & M. Scandiani.** 2010. Manual Mancha Ojo de Rana. Ed. Horizonte A, Buenos Aires, Argentina. 40 pp.

- Da Costa, D.I.F.** 2005. Controle de doenças de final de ciclo na cultura da soja. Ph. D. Tesis. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. 116 pp.
- Díaz, C.G., D. Ploper, M.R. Galvez, V. Gonzalez, M.A. Zamorano, H.E. Jaldo, C. Lopez & J.C. Ramallo.** 2005. Effect of late season diseases on the growth of different soybean genotypes in relation to planting date. *Agriscientia* 21(1): 1-7.
- Distéfano, S.G. & L.C. Gadbán.** 2009a. Estimación de pérdidas de rendimiento causadas por la “mancha ojo de rana” en diferentes cultivares de soja. Proceedings of XIII Jornadas Fitosanitarias Argentinas. AAF, Río Hondo, Santiago del Estero. E031.
- Distéfano, S.G. & L.C. Gadbán.** 2009b. Panorama fitopatológico del cultivo de soja en la campaña 2008 – 2009. Disponible en <http://www.inta.gov.ar/mjuarez/info/documentos/soja/enfsoja09.pdf>. Último acceso: Agosto 2012.
- Fehr, W.R. & C.E. Caviness.** 1977. Stages of soybean development. Iowa State University Special Report 80: 11 p.
- Formento, N., D. Santos & H. Peltzer.** 2005. Actualización Técnica – Soja. INTA EEA Paraná. Serie Extensión N° 34. 76 pp.
- Formento, A.N., L. Schutt de Varini & J.C. Velázquez.** 2009. Enfermedades de Fin de Ciclo (EFC), Roya Asiática (RAS) y Emergentes en el Cultivo de Soja en Entre Ríos. *Fitopatológico. Cultivo de Soja*. Año V – N°52. Disponible en: [http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion\\_vegetal/soja/roya/informes/20419\\_090916\\_enfe.htm](http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion_vegetal/soja/roya/informes/20419_090916_enfe.htm). Último acceso setiembre de 2012.
- Hartman, G.L., J.B. Sinclair & J.C. Rupe.** 1999. Compendium of soybean diseases. 4th Ed. APS Press, The American Phytopathological Society, St. Paul MN, USA. 100 pp.
- Hoffmann, L. L., E. M. Reis, C.A. Forcelini, E. Panisson, C.S. Mendes & R.T. Casa.** 2004. Efeitos da rotação de cultura, de cultivares e da aplicação de fungicida sobre o rendimento de grãos e doenças foliares em soja. *Fitopatologia Brasileira* 29: 245-251.

- Ivancovich, A. & G. Botta.** 2003. Enfermedades de final de ciclo de la soja. Información técnica cultivos de verano. Información Técnica de Cultivos de Verano, campaña 2003. Publicación Miscelánea INTA EEA Rafaela 100.
- Klingelfuss, L.H. & J.T. Yorinori.** 2001. Infecção latente de *Colletotrichum truncatum* e *Cercospora kikuchii* em soja. Fitopatologia Brasileira 26: 158-164.
- Kirby, H.W., M.C. Shurtleff, D.M. Eastburn & D.I. Edwards.** 1992. Pest control handbook. University of Illinois at Urbana-Champaign. Illinois.
- Kulik, M.M.** 1984. Symptomless infection, persistence, and production of pycnidia in host and non-host plants by *Phomopsis batatae*, *Phomopsis phaseoli*, and *Phomopsis sojae*, and the taxonomic implications. Mycologia 76: 274–291.
- Larran, S., C. Rollán, H. Bruno Ángeles, H.E. Alippi & M.I. Urrutia.** 2002. Endophytic fungi in healthy soybean leaves Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg. Vol. 17 (1), 173-178.
- Marinelli, A., C. Cardetti, G. March, J. García & C. Oddino.** 2011. Efecto del momento de cosecha sobre la calidad de la semilla de soja. Proceedings of 2º Congreso Argentino de Fitopatología. AAF, Mar del Plata. p. 312.
- Odetto, S. & H. Baigorri.** 2010. Taller Nacional sobre la Mancha ojo de rana. EEAA INTA Marcos Juárez.
- Ploper, D., M. Devani, M. Zamorano, R. Gálvez & Y.V. González.** 2000. Prevalencia de la Mancha Ojo de Rana en Cultivos de Soja del Noroeste Argentino para su EEAOC. Avance Agroindustrial 21(2): 13-17.
- Ploper, L.D., M.R. Gálvez, V. Gonzalez, H. Jaldo, M.A. Zamorano & Devani, M.** 2001. Manejo de enfermedades de fin de ciclo del cultivo de soja. Avance Agroindustrial 22(1): 20-26.
- Ploper, L.D., V. González, B.A. Pérez, R. Pioli, P. Rodríguez Pardina, M. Scandiani, S. Distefano & M. Sillon.** 2008. Enfermedades de *Glycine max* (L.) Merrill (soja, soya, poroto soja, frijol soja). En: Nome S.F., D.M. Docampo, L.R. Conci & I.G. Laguna, Eds., Atlas Fitopatológico Argentino. VOL 1, Nº 2. Septiembre 2008. Córdoba,

Argentina. Disponible en URL:  
<http://www.fitopatoatlas.org.ar/default.asp?hospedante=635>. Ultimo acceso: Octubre 2012.

**SAGPyA.** 2012. Estimaciones agrícolas. Disponible en: [www.sagpya.mecon.gov.ar](http://www.sagpya.mecon.gov.ar). Ultimo acceso: Noviembre de 2012

**Scandiani, M.M., B. Ferrari, N. Formento, A. Luque, M. Carmona, M. Tartabini & M. Ferri.** 2010. Evaluación de la resistencia y susceptibilidad de genotipos de soja (*Glycine max*) a la mancha ojo de rana (*Cercospora sojina*). Revista Análisis de Semillas 4(14): 67-72.

**Sinclair, J.B.** 1991. Latent infection of soybean plants and seeds by fungi. Plant Disease 75, 220-22

**Stuckey, R.E., R.M. Jaques, D.M. Tekrony & D.B. Egil.** 1981. Foliar fungicides can improve soybean seed quality. Kentucky Seed Improvement Association, Lexington.

**Swoboda, C. & P. Pedersen.** 2009. Effect of Fungicide on Soybean Growth and Yield. Agronomy Journal 101: 352-356.

**Tekrony, D., R. Stuckey, D. Egli & L. Tomes.** 1985. Effectiveness of a point system for scheduling foliar fungicides in soybean seed fields. Plant Disease 69: 962-965.

**Vilella, F., S. Senesi, E. Dulce, R. Pérez San Martín & M. Daziano.** 2010. El sistema de agronegocios de la soja en la Argentina, su cadena prospectiva al 2020. Ed. Horizonte A, Buenos Aires. 352 pp.

**Wrather, J. A., T.R. Anderson, D.M. Arsyad, Y. Tan, D. Ploper, A. Porta-puglia, H.H. Ram & J.T. Yorinori.** 2001. Soybean disease loss estimates for the top ten soybean- producing countries in 1998. Canadian Journal of Plant Pathology 23: 115-121.

**Yorinori, J.T.** 1989. Frogeye Leaf Spot of Soybean (*Cercospora sojina* Hara). Proceedings of IV Conferencia Mundial de Investigación en Soja. AASOJA, Buenos Aires. pp. 1275-1283.

## CAPITULO I

### **Enfermedades foliares de fin de ciclo: impacto del uso de fungicidas. Relación entre las precipitaciones pluviales y la repuesta al rendimiento por el uso de fungicidas**

#### **INTRODUCCIÓN**

##### **Características generales de las EFC**

Según Kantolic & Carmona (2012), las características generales y comunes de las EFC que pueden destacarse son: 1) conforman un complejo de enfermedades, que afectan tanto el número y peso de los granos como así también la calidad de las semillas, 2) la mayoría de ellas presentan períodos de incubación y latencia largos (desde la infección hasta la aparición de los síntomas y fructificaciones pueden transcurrir varios días), es decir hay infecciones previas que no son visualizadas como ocurre en otras enfermedades, 3) como consecuencia de lo anterior hay un aumento de severidad hacia el final del ciclo, que incluso se puede confundir con la senescencia natural, lo que dificulta la toma de decisiones pudiendo pasar desapercibidas, 4) la mayoría de sus agentes causales son patógenos necrotróficos y sobreviven en semilla y rastrojo, y 5) en su mayoría, los patógenos causantes de las EFC, a excepción de *C. kikuchii*, presentan fructificaciones hidrofílicas, que necesitan del agua para la liberación, remoción, disseminación y germinación de las esporas. Asimismo el mayor número y frecuencia de horas de mojado también explicarían un incremento de la intensidad de todas las EFC (Yorinori, 2011). Por todo ello, las precipitaciones pueden ser consideradas como una importante variable que influye en la epidemiología de estas enfermedades, que debería ser analizada y cuantificada.

Las principales estrategias para el control de todas estas enfermedades incluyen el uso de cultivares con mejor comportamiento sanitario, tratamiento de

semillas, la aplicación de fungicidas y el uso de prácticas culturales (rotación de cultivos, fechas de siembra, densidad de plantas). Sin embargo, el hábito generalizado del monocultivo de soja bajo SD, disminuye las posibilidades de manejo mediante prácticas culturales tales como la rotación de cultivos. Por lo tanto y como ocurre cada vez más en América del Sur, el control químico foliar, es una medida de control de emergencia y rápida, a pesar de que aumenta el costo de producción y el riesgo de contaminación ambiental (Reis et al., 2012). En esa situación, la sustentabilidad económica y ecológica solamente podrían ser alcanzadas si la aplicación de fungicidas para el control de una enfermedad específica es orientada con fundamentos económicos, ecológicos y sustentables.

El objetivo de este capítulo fue estudiar la relación funcional entre lluvias, rendimiento y las EFC foliares, identificando las precipitaciones (momento e intensidad de ocurrencia) que mejor se asocien estadísticamente con la respuesta a los fungicidas.

### **Principales enfermedades foliares de fin de ciclo**

Dentro del complejo de las EFC, la mancha marrón causada por *Septoria glycines* y el tizón púrpura causado por *Cercospora kikuchii* son las enfermedades de mayor prevalencia en Argentina. De esta forma los patógenos causantes de ambas enfermedades son considerados los más frecuentes en toda la región pampeana causando síntomas foliares (Distéfano & Giorda 1997; Ivancovich & Botta, 2000; Ploper et al., 2001; Carmona et al., 2004; Distéfano & Gadbán, 2007; Couretot, 2011). A modo de ejemplo, en relevamientos efectuados en las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe desde 2003 a 2008, la mancha marrón estuvo presente en el 100 % de los lotes involucrados con un rango de severidad foliar de 17 a 46 %, mientras que el tizón morado se presentó sólo en el 53 % de los mismos con valores de severidad de que alcanzaron al 38 % (Carmona et al., 2010).

## **Mancha marrón o septoriosis de la soja**

Esta enfermedad es denominada Septoriosis al considerar el género al que pertenece el agente causal (*Septoria*) o mancha marrón debido a los síntomas que causa. En inglés es denominada “brown spot”. La enfermedad fue descrita por primera vez por Hemi en 1915, apareciendo en las provincias de Kimatai, Ishikari, Tokashi e Iburi en Japón (Hara, 1915). Más tarde se registró en Estados Unidos por Wolf & Lehman en 1922 en el estado de Carolina del Norte. En Argentina fue citada por Martinengo de Mitidieri (1986). En condiciones de campo, *S. glycines* puede causar un daño de 8 a 15 % a partir de la infección natural y de 8 % a 34 %, cuando se realiza inoculación de parcelas (Lim, 1980).

Los síntomas de la mancha marrón, se visualizan principalmente en hojas, incluso desde estadios tempranos (vegetativos), manifestando su presencia en los cotiledones y hojas basales. Luego del ataque inicial, puede observarse recuperación del desarrollo normal de las plantas hasta el período de llenado de vainas (R6), cuando una nueva epidemia puede desarrollarse (Yorinori, 1994; 2011). Las manchas foliares comienzan por las hojas inferiores, son angulares a irregulares (a veces con márgenes difusos) de color marrón y sin protuberancias planas (Fotografía 1 y Figura 1). Un amarillamiento generalizado acompaña a las hojas afectadas, las cuales pueden caer prematuramente desde la base hacia la parte superior de la plantas.

La septoriosis puede ser confundida con síntomas de la roya asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) y con enfermedades bacterianas. Sin embargo la presencia de lesiones pardas planas sin exudados de zooglea y la ausencia de fructificaciones típicas de la roya, permiten distinguirla. Asimismo cuando los síntomas foliares de mildiu (*Peronospora manshurica*) se encuentran avanzados, las lesiones en el haz pueden también confundirse con la septoriosis, en este caso la presencia de las fructificaciones típicas de *Peronospora* en el envés en coincidencia con esas lesiones, permite diferenciarlas claramente.



**Fotografía 1.** Síntomas foliares típicos de la mancha marrón causada por *Septoria glycines*

El agente causal de la mancha marrón (*S. glycines*) forma picnidios marrones, globosos a globosos cónicos, inmersos en tejidos foliares y restos de cultivos (Figura 1). Comúnmente miden de 9 – 100  $\mu\text{m}$  de diámetro, pudiendo encontrarse aislados o agrupados (Wolf & Lehman, 1922). Las picnidiosporas son hialinas, filiformes, curvas, con 1 a 3 septos y de tamaños variables. La mayoría presenta una longitud de 35 a 40  $\mu\text{m}$ .

El patógeno sobrevive por colonizar semillas, tallos, hojas y restos del cultivo, constituyendo las fuentes de inóculo primario (Couretot, 2011), mientras que la fuente de inóculo secundario está compuesta por los cotiledones y las primeras hojas enfermas (Hemmi, 1915, Figura 1).

Como las esporas son producidas en picnidios, se requiere el mojado para la liberación de las mismas en forma de cirrus. Posteriormente son diluidos y removidos por el impacto de la gota de lluvia y llevados a órganos susceptibles del hospedante, siempre vehiculizados por la gota de agua (Reis et al., 2012; Figura 1).

Las temperaturas cercanas 25 °C, humedad relativa mayor al 90 % y las lluvias con vientos (las salpicaduras favorecen la dispersión) son condiciones ambientales óptimas para la epidemia de esta enfermedad (Hartman et al., 1999).

La severidad de la enfermedad y el número de lesiones de *S. glycines* son significativamente influenciados por la temperatura y duración del mojado foliar. En general la severidad incrementa con el aumento de la duración de mojado de 6 a 36 hs y con una temperatura de 25 °C (Schuh & Adamowicz, 1993).

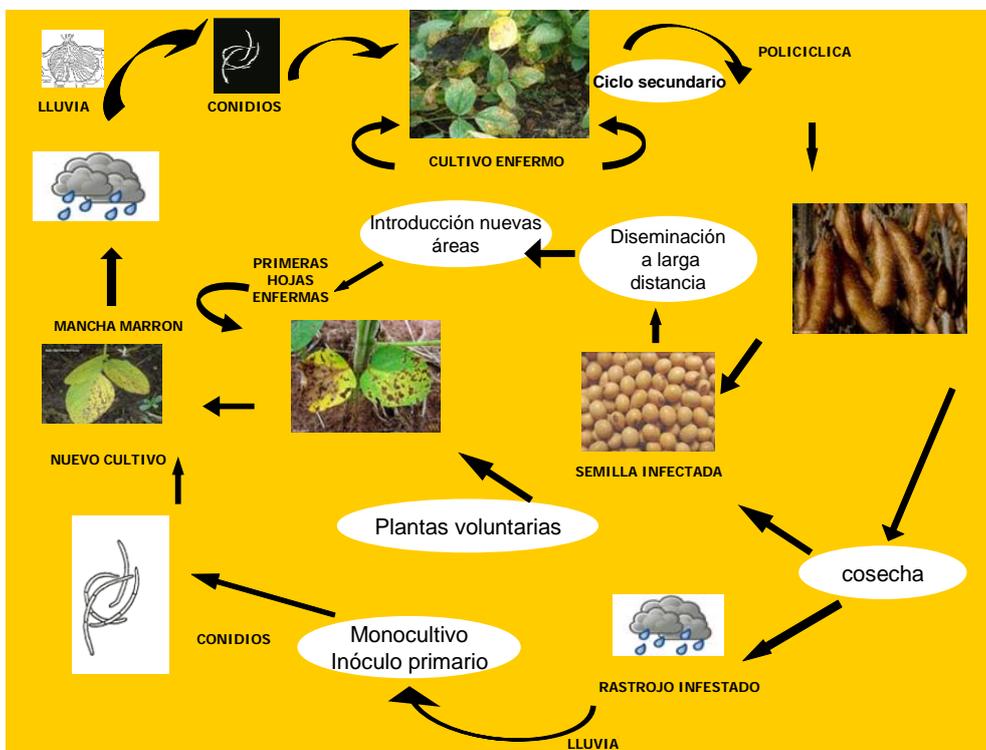


Figura 1. Ciclo de la mancha marrón causada por *Septoria glycines*.

### Tizón de la hoja o tizón púrpura

La primera referencia de esta enfermedad fue hecha en Korea en 1921 (Hartman et al., 1999), mientras que en Argentina fue encontrada en semillas en 1981 (Barreto et al., 1981). Esta enfermedad ocurre en todas las regiones donde se cultiva soja, especialmente en aquellas con lluvias frecuentes durante la maduración del cultivo.

En un primer momento, su importancia fue vinculada exclusivamente a las semillas, sin embargo Lehman (1950), observó en plantas inoculadas, que también afectaba otras partes de las plantas.

El tizón púrpura puede ocurrir en semillas, tallos, hojas y vainas (Figura 2). En las hojas las lesiones son de forma variable: angulares a irregulares, donde la

aparición de un color morado bronceado a púrpura es el rasgo típico (Fotografía 2). Las hojas superiores manifiestan esta característica con mayor intensidad ya que el hongo produce un pigmento tóxico foto-activo denominado cercosporina (Daub, 1982; Lurá et al., 2007; 2011). Por otro lado, en las vainas se observa un manchado generalizado de color morado. Las infecciones severas pueden causar defoliación o senescencia prematura. En las semillas se observa el síntoma más prominente y más conocido, que es la presencia de manchas de color púrpura, acompañado en la mayoría de las veces por un agrietamiento del tegumento (Hartman et al., 1999). El hongo forma conidios sobre conidióforos, estos son de coloración pardo claro, pudiendo encontrárselos aislados o formando fascículos de 3 a más de 20. Los conidios son delgados rectos o curvos, agudos en el ápice, truncados a sub-truncados en la base, midiendo en promedio 210 x 3,3  $\mu\text{m}$ . La cantidad de septos de los conidios varían entre 2 a 49 (Hartman et al., 1999).

El patógeno sobrevive en semillas y restos culturales, que constituyen las fuentes de inóculo primario (Figura 2). Sin embargo, algunas malezas podrían ser consideradas fuente de inóculo de *C. kikuchii* (McLean & Roy, 1983).

La mayoría de las especies del género *Cercospora*, incluyendo *C. kikuchii*, no se les conoce el estado sexual. No obstante, algunos investigadores (Cai & Schneider, 2008) sugieren la probable existencia de un estado sexual de funcionamiento desconocido en *C. kikuchii*. En relación a las características de la población de este patógeno, estudios demuestran la alta variabilidad genética en los aislados (Lurá et al., 2011; Almeida et al., 2005).

Los conidios son removidos y transportados por el viento cuando la superficie de los órganos esporulantes se encuentran secos (Figura 2). Al mismo tiempo la coincidencia de alta humedad relativa (> a 90 %) temperaturas de 25 a 30 °C y la ocurrencia de mojado foliar favorece la infección (Schuh, 1992; Yorinori, 2011; Reis et al., 2012).

Este patógeno no requiere agua para la dispersión como ocurre con *Septoria*, pero sí para la germinación, ya que sus conidios (considerados secos), se forman en conidióforos libres que son llevados por el viento a cortas distancias (Reis et al., 2012, Figura 2).

En Brasil se han recolectado a campo el 60 % de los conidios mayormente durante el día, entre las 8 y las 15 hs. A su vez, la mayor cantidad de esporas se capturaron con reducción de precipitación y periodos de mojado foliar, humedad relativa superior al 80 % y temperaturas que oscilan entre 20 y 24 °C, determinando un ambiente favorable para la captura de conidios y la intensidad de la enfermedad (Sathiko Kudo et al., 2011). Estos datos se corroboran con los encontrados por Schuh (1992), que informó que *C. kikuchii* requiere un mínimo de 18 horas de mojado foliar para infectar hojas y vainas de soja.



**Fotografía 2:** Síntomas foliares típicos del tizón morado causado por *Cercospora kikuchii*

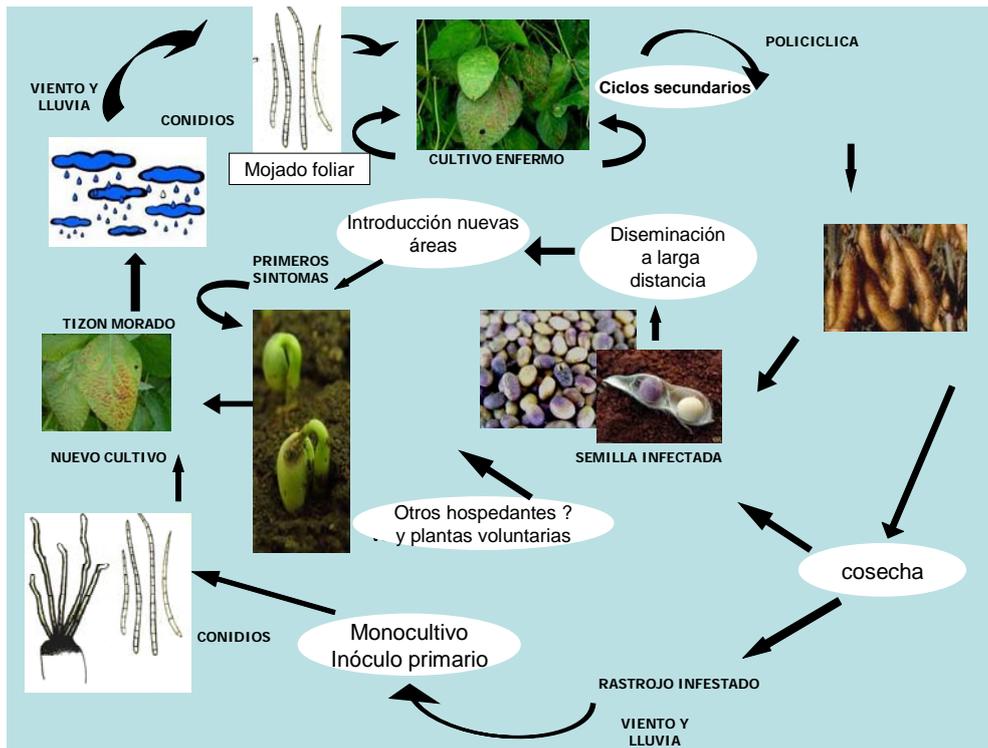


Figura 2. Ciclo del tizón púrpura causado por *Cercospora kikuchii*

### Cuantificación de las EFC

La cuantificación de la severidad de las enfermedades foliares no resulta una tarea sencilla, más aún, cuando se trata de un complejo de enfermedades que pueden manifestarse conjuntamente en una misma hoja. Para el caso de las enfermedades foliares de fin de ciclo del cultivo de soja causadas por hongos necrotróficos, es muy común que tanto *C. kikuchii* como *S. glycines* puedan ser registrados en infecciones concomitantes. De manera general la metodología de determinación de severidad de las EFC estimando visualmente el área foliar afectada, es aplicada por diversos autores (Niero et al., 2007; Fernández et al., 2002; Diaz et al., 2005; Da Costa, 2005). El organismo brasileiro EMBRAPA (2009) sugiere estimar la severidad de las EFC en el estadio R7, donde pueden encontrarse diferencias. Desde la Institución aconsejan dividir las plantas en tres para estimar el % de área foliar cubierta por síntomas, cuantificando visualmente las diferentes enfermedades que se encuentren. Posteriormente, recomiendan promediar esos tres valores para calcular la severidad

media correspondiente. Otra de las metodologías utilizadas es la del uso de la escala gráfica, destacando la de Martins et al., (2004). Esta escala permite estimar la severidad de las EFC por folíolo causadas por *S. glycines* y *C. kikuchii* de acuerdo a dos tipos de patrón de síntomas: agregados o aleatoriamente distribuidos.

Otros estudios adicionales y complementarios a la severidad es la determinación de la frecuencia o incidencia de patógenos en discos o trozos foliares (Klingelfuss & Yorinori, 2001), que consiste en incubar fragmentos de tejido foliar con síntomas para la posterior determinación de los agentes patógenos presentes. Con esta metodología se complementa la información de la severidad debido a que establece post-incubación, cual o cuales son los patógenos más frecuentes asociados a los síntomas observados.

## **LATENCIA**

Según Agrios (2005), la latencia es el estado por el cual el hospedante es infectado por el patógeno pero no muestra síntomas. La infección latente persiste hasta que los síntomas y signos aparecen promovidos por las condiciones ambientales, nutricionales o por la madurez del hospedante o patógeno. Para otros autores, en un contexto epidemiológico, la infección latente se encuentra relacionada con el período de latencia, definiéndola como el período de tiempo transcurrido entre la infección y la aparición de las estructura reproductivas del patógeno (Amorín, 1995). En la planta de soja, ocurren mecanismos que atrasan o detienen el progreso de muchos patógenos que comenzaron su infección tempranamente, ya sea en estados vegetativos o reproductivos tempranos.

Si bien en este capítulo se priorizará las enfermedades foliares más comunes de fin de ciclo (mancha marrón y tizón púrpura), para una mejor comprensión de la problemática y a la posibilidad cierta de detectar otros patógenos en hoja, a

continuación se describirán las características de cada uno de los patógenos relacionados con la latencia:

### **Antracnosis – *Colletotrichum***

De manera general, en las diferentes especies de *Colletotrichum* el patógeno exhibe una fase inicial de colonización asintomática (Agris, 2005), y biótrofa en la que se establece en los tejidos vegetales de los hospedantes e invade las células sin matarlas, seguida de una fase final visible durante la cual se nutre necrotróficamente (Bailey & Jeger, 1992; O'Connell et al., 1993; Perfect et al., 1999; Pring et al., 1995). Debido a estas características estos patógenos pueden ser considerados como intracelulares hemibiótrofos (O'Connell et al., 2000; Perfect et al., 1999).

En el cultivo de soja, la antracnosis forma parte de las EFC siendo el signo más evidente, la manifestación de puntuaciones negras dispersas en tallos y vainas (acérvulas) en etapas avanzadas del ciclo, lo que acelera la senescencia. Sin embargo, los daños causados en la implantación del cultivo, en años de intensas precipitaciones y temperaturas bajas, pueden causar muerte generalizada de plántulas en pre o post emergencia y defoliación prematura (Manandhar & Hartman, 1999).

En un trabajo del año 2013, se realizó la caracterización molecular de las especies de *Colletotrichum* causantes de antracnosis de la soja en Argentina (Ramos et al., 2013). De acuerdo con estos autores, *Colletotrichum truncatum* fue identificado en el 73 % de los aislados y *Glomerella glycines* en el 26 %.

De acuerdo con diversos autores (Sinclair, 1991; Cerkauskas & Sinclair, 1980; Klingelfuss & Yorinori, 2001; Larran et al., 2002; Yorinori, 2011) este hongo puede permanecer en forma latente durante la mayor parte del ciclo del cultivo de soja sin producir síntomas. En estudios realizados en carpelos y semillas de soja, el patógeno fue encontrado tanto en R4 como en R7 (Pioli et al., 2000).

Los síntomas se visualizan claramente durante el llenado de granos y el comienzo de senescencia, sin embargo, bajo condiciones de déficit nutricional,

situaciones de estrés o el uso de variedades susceptibles, el hongo puede aparecer desde el inicio de la etapa reproductiva, lo que generaría pérdidas aún mayores (Yorinori, 2011).

### **Tizón de la vaina y tallo- *Phomopsis spp.***

Los síntomas más frecuentes son observados en tallos, vainas y semillas. El signo característico es la presencia de abundantes picnidios en tallos y dispersos en vainas, que incrementan su número bajo condiciones húmedas (McGee, 1983). El agente causal *Phomopsis sojae* (teleomorfo *Diaporthe phaseolorum* var. *sojae*) puede estar latente en los tejidos desde los primeros estadios de la soja sin mostrar síntomas (Kmetz et al., 1978; Sinclair, 1991; Larran et al., 2002), aunque es más evidente hacia la maduración del cultivo (McGee, 1983). Ocasionalmente puede afectar las hojas, sin producir síntomas definidos.

### **Tizón de la hoja y mancha púrpura de la semilla *C. kikuchii***

El agente causal, *C. kikuchii* también puede presentar período de latencia desde estadios vegetativos hasta aproximadamente el comienzo de R3-R4 (Cerkaskas & Sinclair, 1980; Sinclair, 1991; Klingelfuss & Yorinori, 2001; Yorinori, 2011). En Brasil, es común encontrarlo en tejidos asintomáticos foliares y de tallos, posteriormente los síntomas se hacen evidentes, aproximadamente desde R5 en adelante dependiendo del genotipo, ambiente y condiciones de crecimiento del cultivo (Walters, 1980; Klingelfuss & Yorinori, 2001; Yorinori, 2011). Sin embargo, y tal como ocurre con la antracnosis, si el cultivo muestra síntomas de stress o déficit nutricional, la visualización de los síntomas puede ocurrir más tempranamente (Yorinori, 2011). En estudios de carpelos y semillas de soja, ha sido detectado en R7 (Pioli et al., 2000).

### **Mancha marrón- *S. glycines***

La mancha marrón difiere del resto de los patógenos involucrados, debido a que sus síntomas característicos aparecen en etapas tempranas (Yorinori, 2011; Couretot, 2011). Sin embargo, y dependiendo de las condiciones ambientales, es hacia el final de ciclo donde *S. glycines* puede progresar y tornarse más frecuente (Ferreira et al., 1979; Ito & Tanaka, 1993; FAO 1995; Mantecón, 2008) generando mayor severidad en infecciones concomitantes con *C. kikuchii* (Martins, 2003; Martins et al., 2004) y es por ello que se encuentra incluida en el grupo de las EFC.

Luego del ataque inicial, se puede observar una recuperación del desarrollo normal de las plantas hasta el período de llenado de vainas (R6), donde una nueva infección puede desarrollarse (Yorinori, 1994). Por ello y de acuerdo con Yorinori (2011), la mancha marrón presenta dos etapas bien definidas: la primera de ellas que ocurre desde pocos días de la emergencia hasta aproximadamente 30 días después y posteriormente a esta fase, donde las plantas adquieren una mayor tolerancia, sin que la enfermedad genere síntomas evidentes, exceptuando aquellas hojas del tercio inferior que ya habían sido infectadas. La segunda etapa consiste en la re-incidencia y progreso de la septoriosis luego de los 30 a 40 días de emergencia, que podrá ser más temprana o tardía dependiendo de las condiciones ambientales, situaciones de stress, presión de inóculo (monocultivo), infecciones previas y comportamiento del genotipo (Yorinori, 2011).

### **Características de las moléculas más utilizadas para el manejo químico de las EFC**

La aparición de las moléculas sistémicas, benomil y carbendazim significó el comienzo del uso de fungicidas en soja a nivel mundial, cuyo principal objetivo fue proteger las vainas y semillas procurando obtener una mejor calidad sanitaria de los granos (Ross, 1975; Phillips, 1984). A medida que la siembra del cultivo de soja fue aumentando en número de hectáreas, el advenimiento de los genotipos transgénicos

resistentes al glifosato, la siembra directa y el monocultivo, ocasionó un nuevo escenario sanitario gobernado por las EFC, generando la inclusión de estas enfermedades foliares como un nuevo objetivo de control, (Carmona, 2009).

### **Bencimidazoles**

Dentro de este grupo se puede mencionar el benomil, carbendazim, tiabendazol, tiofanato metilico y fuberidazol, siendo el más utilizado el carbendazim (metil benzimidazol carbamato). Los fungicidas de este grupo interfieren el proceso nuclear y desintegran la tubulina, de esta forma los bencimidazoles interfieren la mitosis durante la división de la metafase, el huso mitótico es destruido y los núcleos hijos fracasan en separarse, resultando en la muerte de la célula (Hewitt, 1998).

El uso reiterado de los bencimidazoles al igual que cuando se usan estrobilurinas solas, presenta un alto riesgo de generar cepas resistentes. Por ello no se recomiendan aplicaciones múltiples e individuales de estas moléculas, para evitar la generación de resistencia en los hongos patógenos y no perder la fungitoxicidad que presentan (FRAC, 2012).

### **Triazoles**

En un importante grupo que se caracteriza por su amplio espectro de acción, usados contra la mayoría de los patógenos importantes, exceptuando los Oomycetes (Hewitt, 1998). Se los denomina también inhibidores de la des-metilación (IDM) o inhibidores de la biosíntesis del ergosterol (IBE). Estos fungicidas actúan en la formación y selectividad de la membrana plasmática, son agentes sistémicos y actúan como protectores, curativos y erradicantes aunque su principal función es la de ser curativos (post infección, antes de la aparición de los síntomas), sin embargo no son altamente efectivos para inhibir la germinación de esporas, ya que este proceso depende de sustancias de reservas que permiten la germinación en ausencia de la biosíntesis de este lípido (Hewitt, 1998).

## **Estrobilurinas**

Estos fungicidas inhiben la respiración mitocondrial por el bloqueo de la transferencia de electrones en el complejo citocromo-bc1 (complejo III). En general, las esporas de los hongos son más sensibles a las estrobilurinas que el propio micelio, y es por ello que se las consideran "moléculas protectoras" inhibiendo la germinación de esporas o protegiendo durante la iniciación de epidemias (Bartlett et al., 2002).

Las estrobilurinas pertenecen al grupo químico de inhibidores de la quinona externa (IQe), son moléculas altamente eficaces con un amplio espectro de control y persistencia en numerosos cultivos lo que ha generado una verdadera revolución científica y tecnológica, iniciando una nueva era, luego de los triazoles (Bartlett et al., 2002). El principal inconveniente de las estrobilurinas es el alto riesgo de generar resistencia en los hongos cuando se usa frecuentemente, a bajas dosis y en forma individual (FRAC, 2012). No obstante uno de los atributos vinculados con las estrobilurinas son los efectos fisiológicos logrados en muchos cultivos, pudiendo mencionarse la disminución de la concentración de etileno lo que retrasa y disminuye la senescencia de las plantas, aumentando la eficiencia fotosintética y mejorando el proceso respiratorio (Balba, 2007). Estos efectos complementarios de las estrobilurinas contribuyen al mantenimiento del área foliar activa verde de las plantas otorgando mayor y mejor capacidad de intercepción de la radiación solar lo que impacta de forma conjunta con su acción fungicida, sobre los rendimientos (Bartlett et al., 2002).

## **Las mezclas estrobilurinas-triazoles**

Con la necesidad de combinar diferentes mecanismos de acción, aumentar el espectro de acción y reducir el riesgo de resistencia de los hongos a las estrobilurinas, la utilización de esta molécula asociada con los triazoles marcó un nuevo concepto en la protección química de los cultivos (Reis et al., 2010). Mediante esta mezcla se logró aumentar, no sólo el espectro de acción sino también el período de protección, en

numerosos y variados cultivos. Estas mezclas representan una evolución en el uso de fungicidas y supo combinar diferentes movimientos de las moléculas en la planta con diferentes formas bioquímicas de acción sobre los hongos (Siqueira de Azevedo, 2007). Actualmente las recomendaciones para usar mezclas se están generalizando año tras año, ya que el uso de triazoles o de estrobilurinas en forma individual han demostrado que han perdido efectividad para el control de algunas enfermedades (FRAC, 2012).

### **Objetivos Específicos:**

- 1) Valorar el impacto del uso de fungicidas para el control de las EFC, principalmente sobre la mancha marrón y el tizón púrpura.
  
- 2) Estudiar la relación funcional entre lluvias, rendimiento y las EFC, identificando las precipitaciones pluviales (momento e intensidad de ocurrencia) que mejor se asocien estadísticamente con la respuesta a los fungicidas.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Se realizaron seis ensayos a campo, por año, durante tres campañas agrícolas (2003/2004, 2004/2005, 2005/2006), constituyendo un total de 18 ensayos. Estos ensayos se ubcaron en diferentes localidades del sur de la provincia de Santa Fe y sureste de la provincia de Córdoba (Armstrong, Marcos Juárez, Cruz Alta, Arteaga, Godeken, Monje, Montes de Oca). Estas localidades se encuentran en el área de un polígono de condiciones agroecológicas semejantes (Hall et al., 1992; Figura 3). Los experimentos fueron realizados en lotes comerciales de soja bajo siembra directa, con al menos dos años de monocultivo, lo que constituyeron la matriz de datos para la elaboración posterior del sistema de decisión.

Los suelos donde se realizaron los ensayos, fueron argiudoles típicos con un promedio de materia orgánica de 3.5 % (INTA, 2013). Las variedades utilizadas fueron resistentes a glifosato y susceptibles a las EFC (Tabla 1). La siembra se realizó en todos los casos a 0.52 m de distancia entre hileras con una densidad de 42 plantas/por m<sup>2</sup>. Las prácticas de fertilización y de control de adversidades (malezas e insectos) fueron las usadas comúnmente en la región Pampeana. Los estadios fenológicos fueron evaluados de manera que el 50 % de las plantas de la parcela alcanzara cada estadio (Fehr & Cavines, 1977).

Los tratamientos consistieron en una aplicación de fungicida en dos estadios fenológicos: R3 (inicio de formación de vainas) o R5 (inicio de llenado de granos). Los principios activos utilizados consistieron en mezclas de inhibidores de la quinona externa (IQe, estrobilurinas) con inhibidores de la biosíntesis de esteroides o inhibidores de la desmetilación (IDM, triazoles), mezclas de triazoles y metil benzimidazol carbamatos (MBC) solos o en mezclas.

Los experimentos fueron realizados con un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Cada parcela-unidad experimental tuvo 20 m<sup>2</sup> de superficie total (10 m x 2 m).

Es importante destacar que los fungicidas fueron utilizados en esos experimentos como una herramienta para evaluar una propuesta de aplicación de fungicidas en diferentes momentos de aplicación en relación a los efectos de las EFC y las lluvias, y no para determinar la eficiencia específica de sus ingredientes activos. Como se utilizaron diferentes moléculas, los fungicidas fueron agrupados de acuerdo a su grupo químico, de esta forma diferentes grupos de i.a. fueron divididos en dos tipos: tipo A (mezclas de IQe + IDM) y tipo B (mezclas de IDM) (Tabla 1). Los fungicidas fueron aplicados con una pulverizadora de mochila de CO<sub>2</sub> presurizado equipada con una barra con tres conos llenos (Lurmark 30 HCX4), a la presión de trabajo de 3.16 kg/cm<sup>2</sup> y 150 l/ha.

Para cuantificar las enfermedades, se estimó la severidad (porcentaje de área foliar enferma) ya que por tratarse de enfermedades foliares, la severidad resulta ser mejor parámetro de cuantificación que la incidencia (Amorín, 1995). La severidad de las EFC fue estimada visualmente en el estadio R6-R7 (Díaz et al., 2005; da Costa, 2005; Niero et al., 2007; EMBRAPA, 2009). Para este fin, veinte plantas por parcela fueron extraídas al azar y divididas en tercios (superior, medio e inferior), registrando visualmente el porcentaje de área foliar clorótica y necrótica. Los valores de severidad de cada sección o tercio de las plantas fueron promediados para obtener la severidad de cada planta, posteriormente con dichos resultados se calculó la severidad promedio de cada parcela.

Con el objetivo de identificar, confirmar y obtener la frecuencia de los agentes causales de las sintomatologías observadas, se procedió a realizar incubaciones del material foliar evaluado. La metodología para determinar frecuencia de patógenos en folíolos consistió en la incubación en cámaras húmedas de material foliar seleccionado al azar de las plantas a las que se le había estimado la severidad, tanto del testigo como las provenientes de las aplicaciones químicas. Para ello se recortaron discos de folíolos de 1 cm de diámetro conteniendo parte enferma y sana. Cada uno de los discos provino de un folíolo recolectado al azar. Se recolectaron al azar 60 folíolos centrales de los testigos (sin aplicación de fungicida) de cada uno de los seis ensayos correspondientes a cada una de las tres campañas agrícolas, y 60 folíolos centrales provenientes de los tratamientos químicos en conjunto por ensayo de cada campaña agrícola.

Los discos de folíolos fueron desinfectados con alcohol etílico al 70 % y luego con hipoclorito de sodio al 1 % durante 1 minuto (Klingelfuss & Yorinori, 2001). Finalmente se enjuagaron con agua destilada estéril durante 1 minuto y medio. Las cámaras húmedas se confeccionaron con cajas de petri y papel de filtro humedecido en agua estéril. Éstas fueron expuestas durante 7 días a temperatura constante (24 °C), con alternancia de 12 horas de luz cercana al ultravioleta con 12 horas de

oscuridad. Pasado el periodo de incubación se procedió a la observación del material incubado, mediante el uso de lupa binocular y microscopio, para poder reconocer a los agentes causales en base a sus caracteres micromorfológicos. Esta metodología permitió determinar los hongos involucrados en la patogénesis y su frecuencia. La incidencia para cada patógeno se calculó como la proporción del número de discos con la presencia de cada patógeno respecto al número total de discos evaluados, expresado en porcentaje. Al mismo tiempo, se determinó la prevalencia de cada patógeno, como el número de ensayos donde estuvo presente cada patógeno respecto al total de ensayos desarrollados, expresado en porcentaje.

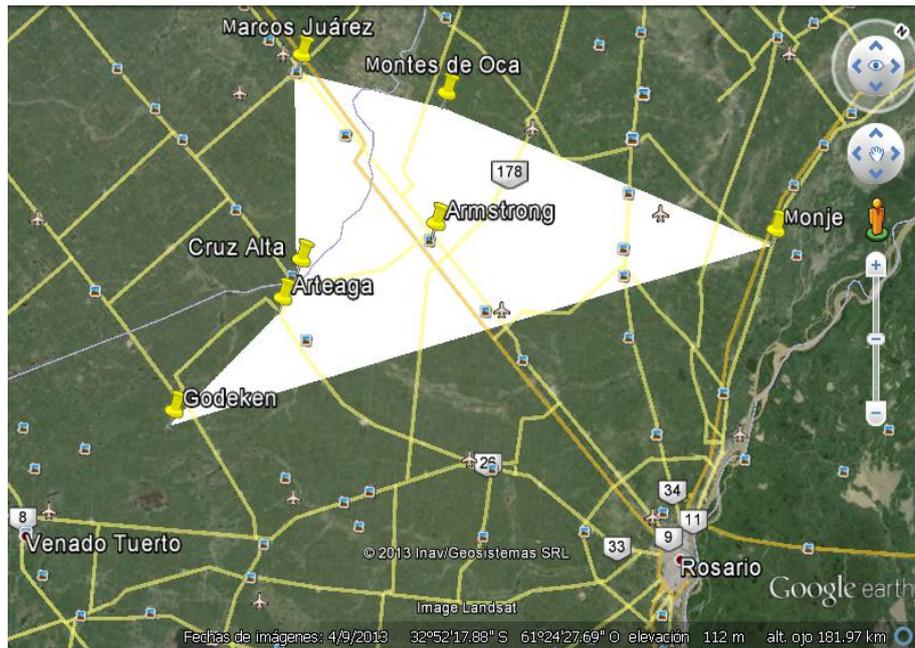
El rendimiento en grano expresado en kg/ha fue estimado en madurez fisiológica en cada parcela y ajustado a 13% de humedad. Las lluvias fueron colectadas en forma diaria con un simple pluviómetro colocado en cada campo, durante toda la estación de crecimiento.

Para el análisis de la matriz de datos provenientes de estos 18 experimentos, se realizó un análisis factorial de covarianza (ANCOVA) a los valores observados de rendimiento de manera de detectar los principales efectos e interacciones utilizando al rendimiento de las parcelas testigo sin aplicación como covariable.

Tres factores principales fueron considerados: campaña agrícola (2003/04; 2004/05; 2005/06), momento de aplicación (R3, R5), y tipo de fungicida tipo A = mezclas de IQe + IDM = azoxystrobina + ciproconazole y tipo B = mezclas de IDM = ciproconazole + difenoconazole en 2006 y 2005, difenoconazole + propiconazole en 2004. Cuando el ANCOVA indicó efectos significativos de los tratamientos, las diferencias entre medias fueron sometidas al test de comparación de medias de Tukey.

En relación a la severidad de las EFC, se realizó para cada ensayo un ANOVA y test de Tukey para analizar diferencias entre medias. Asimismo se llevó a cabo un análisis de regresión lineal, para estudiar la relación entre el rendimiento obtenido y la severidad registrada y esta última con las precipitaciones ocurridas entre R3-R5.

Finalmente se evaluó, mediante un análisis de regresión lineal, la relación entre la respuesta de rendimiento (rendimiento de parcelas tratadas menos rendimiento de parcelas testigo sin aplicación) y las precipitaciones pluviales acumuladas entre varios estadios fenológicos seleccionados (R3 a R5, R4 a R6, R4 a R6.5, R3 a R6.5, R1 a R3, VE a R5 y VE a R6.5).



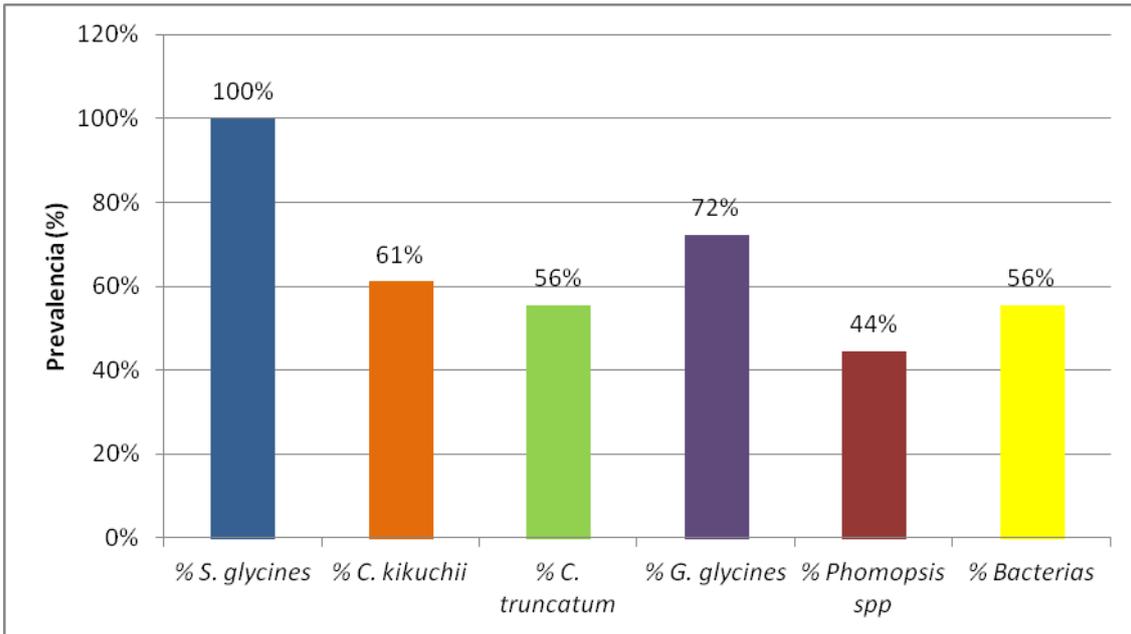
**Figura 3.** Ubicación geográfica del área donde se llevaron a cabo los ensayos.

## RESULTADOS

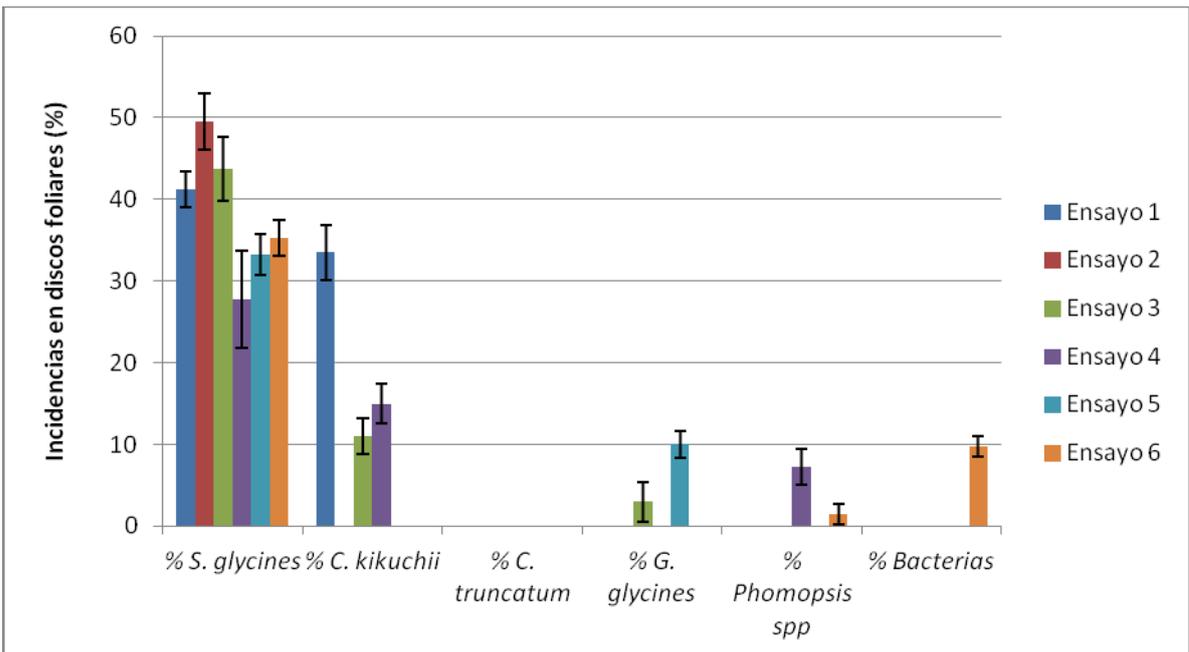
### Prevalencia y frecuencia de los patógenos involucrados

Los patógenos identificados en laboratorio fueron: *S. glycines*, *C. kikuchii* T., *Colletotrichum truncatum* (Schwein.) Andrews & W.D. Moore, *Glomerella glycines* (Hori) Lehman & Wolf, *Phomopsis sojae* Lehman, *Diaporthe phaseolorum var. sojae* (Lehman) Wehm, *P. savastanoi* pv. *glycinea* y *X. axonopodis* pv. *glycines*. Con relación a la prevalencia de los patógenos, el hongo *S. glycines* se presentó en el 100 % de los ensayos, mientras que *C. kikuchii* en el 61 % de los mismos. Los hongos *C. truncatum*, *G. glycines* y *Phomopsis* spp., fueron detectados en el 56 %, 72 % y 44 % de los ensayos respectivamente, post incubación sin que expresaran síntomas foliares característicos a campo. Las bacterias *P. savastanoi* pv. *glycinea* y *X. axonopodis* pv. *glycines* también fueron detectadas en forma concomitante con las esporulaciones anteriores en el 56 % de los ensayos. (Figura 4)

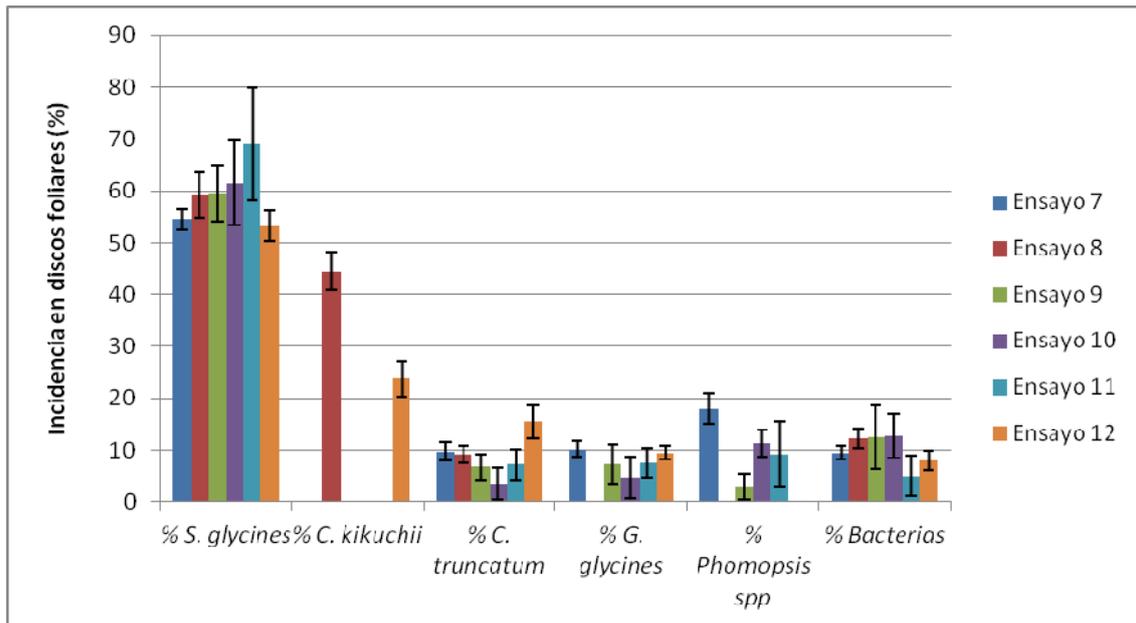
En las Figuras 5, 6,7, 8, 9 y 10 se presentan la frecuencia (incidencia de cada patógeno en discos foliolares) expresada en porcentaje para los tratamientos testigo y químico para cada campaña y ensayo. Los patógenos más frecuentes en todos los ensayos años y tratamientos fueron *S. glycines* y *C. kikuchii* en coincidencia con la mayoría de los síntomas observados a campo.



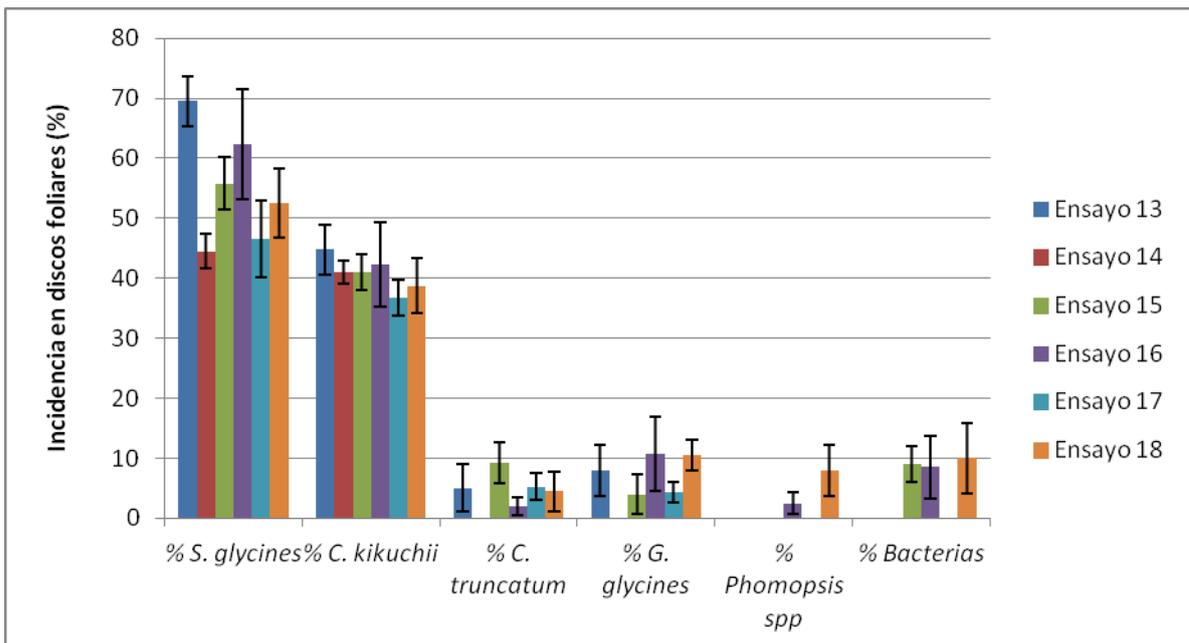
**Figura 4.** Prevalencia de cada patógeno en los 18 ensayos involucrados.



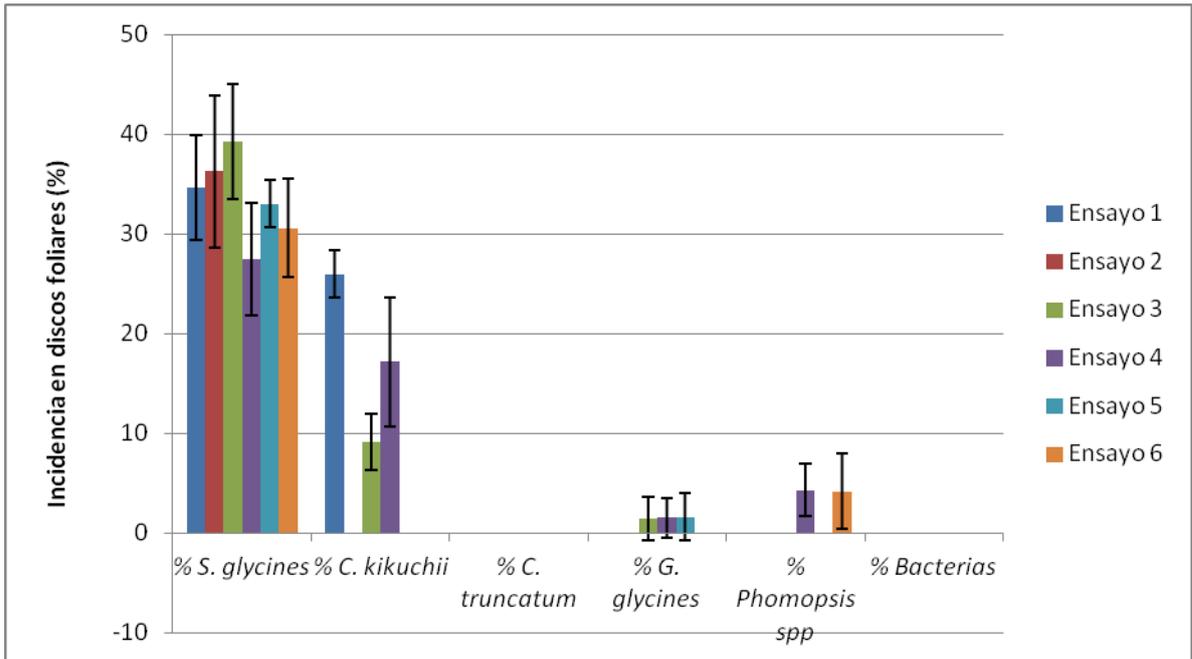
**Figura 5.** Incidencia de cada patógeno en discos foliares (tratamientos testigos). 6 ensayos Campaña 2003/04.



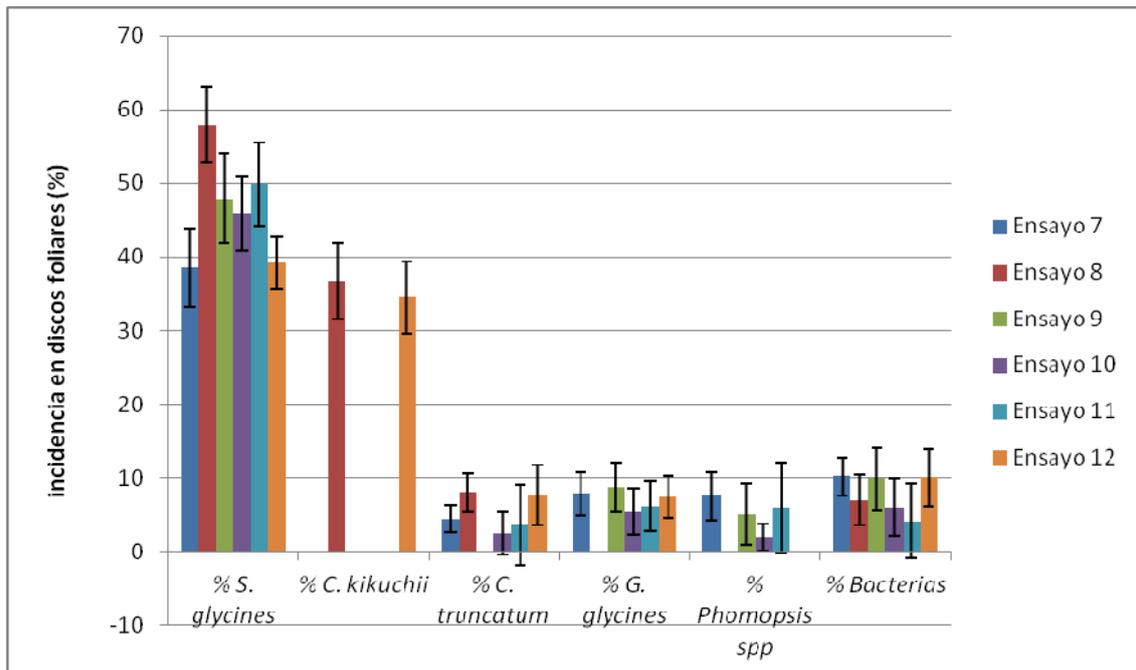
**Figura 6.** Incidencia de cada patógeno en discos foliolares (tratamientos testigos). 6 ensayos Campaña 2004/05.



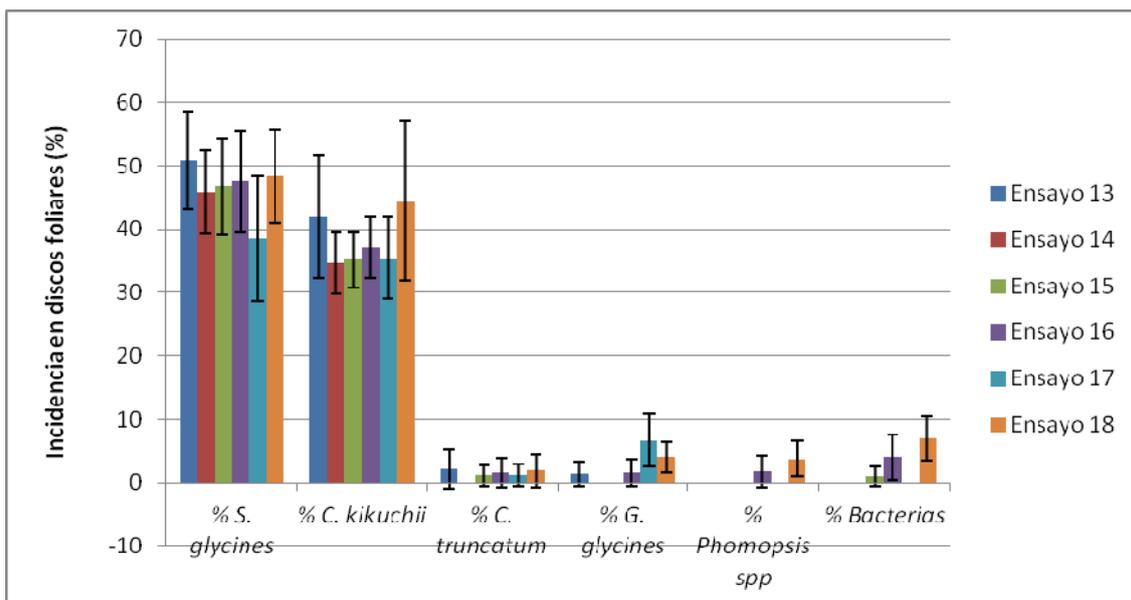
**Figura 7.** Incidencia de cada patógeno en discos foliolares (tratamientos testigos). 6 ensayos Campaña 2005/06.



**Figura 8.** Incidencia de cada patógeno en discos foliares (todos los tratamientos químicos). 6 ensayos Campaña 2003/04.



**Figura 9.** Incidencia de cada patógeno en discos foliares (todos los tratamientos químicos). 6 ensayos Campaña 2004/05.



**Figura 10.** Incidencia de cada patógeno en discos foliares (todos los tratamientos químicos). 6 ensayos Campaña 2005/06.

**Tabla 1.** Campaña agrícola, localidad, variedad, marca comercial, ingredientes activos y dosis de aplicación de fungicidas utilizados en los ensayos, y severidad (Sev.) de las EFC en R7 para las parcelas que recibieron aplicación en R3 y las que recibieron aplicaciones en R5. (ª) Medias seguidas por diferentes letras dentro de una columna son significativamente diferentes en el nivel de 5 % según test Tukey.

Campaña	Ensayo (nº)	Localidad	Cultivar	Marca comercial	Ingrediente activo (i.a.)	Dosis (kg i.a./ha)	Sev R7 (appl. R3) <sup>a</sup>	Sev R7 (appl. R5) <sup>a</sup>
2003/04	1	Armstrong	DM4800	Control	-	-	53 b	53 b
				Amistar Xtra	Azoxistrobina + Ciproconazole	0.060 + 0.024	23 a	20 a
				Taspa	Difenoconazole + Propiconazole	0.038 + 0.038	24 a	21 a
				Amistar	Azoxistrobina	0.063	23 a	22 a
				Sphere	Trifloxistrobina + Ciproconazole	0.066 + 0.028	22 a	21 a
				Comet + Carbendacim	Piraclostrobina + Carbendacim	0.050 + 0.250	24 a	20 a
2003/04	2	Godeken	DM4400	Control	-	-	57 b	57 b
				Amistar Xtra	Azoxistrobina + Cyproconazole	0.060 + 0.024	22 a	26 a
				Taspa	Difenoconazole + Propiconazole	0.038 + 0.038	23 a	32 a
				Amistar	Azoxistrobina	0.063	25 a	28 a

2003/04	3	Godeken	AW3901	Control	-		44 b	44 b
				Amistar Xtra	Azoxistrobina + Cyproconazole	0.060 + 0.024	16 a	21 a
				Taspa	Difenoconazole +	0.038 + 0.038	20 a	22 a
				Amistar	Propiconazole Azoxistrobina	0.063	18 a	22 a
2003/04	4	Montes de Oca	DM4800	Control	-	-	29 b	29 b
				Amistar Xtra	Azoxistrobina + Cyproconazole	0.060 + 0.024	16 a	15 a
				Taspa	Difenoconazole +	0.038 + 0.038	18 a	15 a
				Amistar	Propiconazole Azoxistrobina	0.063	17 a	15 a
				Sphere	Trifloxystrobina +	0.066 + 0.028	16 a	16 a
				Comet+Carb	Cyproconazole Pyraclostrobina + Carbendacim	0.050 + 0.250	16 a	15 a
2003/04	5	Armstrong	AW4303	Control	-		43 b	43 b
				Amistar Xtra	Azoxistrobina + Cyproconazole	0.060 + 0.024	26 a	30 a
				Taspa	Difenoconazole +	0.038 + 0.038	25 a	28 a
				Amistar	Propiconazole Azoxistrobina	0.063	27 a	30 a
2003/04	6	Arteaga	3901	Control	-		38 b	38 b
				Amistar Xtra	Azoxistrobina + Cyproconazole	0.060 + 0.024	13 a	16 a
				Taspa	Difenoconazole +	0.038 + 0.038	12 a	16 a
				Amistar	Propiconazole Azoxistrobina	0.063	12 a	33 a
2004/05	7	Armstrong	3700	Control	-		73 b	73 b
				Amistar Xtra	Azoxistrobina + Cyproconazole	0.060 + 0.024	21 a	33 a
				Alto Bogard	Cyproconazole +	0.025 + 0.038	25 a	31 a
				Amistar Top	Difenoconazole Azoxistrobina + Difenoconazole	0.060 + 0.038	23 a	36 a
2004/05	8	Armstrong	4303	Control	-		92 b	92 b
				Amistar Xtra	Azoxistrobina + Cyproconazole	0.060 + 0.024	35 a	40 a
				Alto Bogard	Cyproconazole +	0.025 + 0.038	41 a	48 a
				Amistar Top	Difenoconazole Azoxistrobina + Difenoconazole	0.060 + 0.038	41 a	50 a
2004/05	9	Armstrong	Mirella Syngenta	Control	-		96 b	96 b
				Amistar Xtra	Azoxistrobina + Cyproconazole	0.060 + 0.024	50 a	70 a
				Alto Bogard	Cyproconazole +	0.025 + 0.038	52 a	77 a
				Amistar Top	Difenoconazole Azoxistrobina + Difenoconazole	0.060 + 0.038	50 a	76 a
2004/05	10	Arteaga	3700	Control	-		73 b	73 b
				Amistar Xtra	Azoxistrobina + Cyproconazole	0.060 + 0.024	21 a	40 a
				Alto Bogard	Cyproconazole +	0.025 + 0.038	25 a	56 a
				Amistar Top	Difenoconazole Azoxistrobina + Difenoconazole	0.060 + 0.038	23 a	54 a

2004/05	11	Armstrong	4800	Control	-		61 b	61 b
				Amistar Xtra	Azoxistrobina + Cyproconazole	0.060 + 0.024	29 a	44 a
				Alto Bogard	Cyproconazole + Difenoconazole	0.025 + 0.038	32 a	50 a
				Amistar Top	Azoxistrobina + Difenoconazole	0.060 + 0.038	31 a	51 a
2004/05	12	Armstrong	4800	Control	-		57 b	57 b
				Amistar Xtra	Azoxistrobina + Cyproconazole	0.060 + 0.024	15 a	38 a
				Alto Bogard	Cyproconazole + Difenoconazole	0.025 + 0.038	19 a	38 a
				Amistar Top	Azoxistrobina + Difenoconazole	0.060 + 0.038	16 a	38 a
2005/06	13	Armstrong	DM4800	Control	-		86 b	87 b
				Amistar Xtra	Azoxistrobina + Cyproconazole	0.060 + 0.024	46 a	59 a
				Alto Bogard	Cyproconazole + Difenoconazole	0.025 + 0.038	52 a	63 a
2005/06	14	Marcos Juarez	Nidera 4725	Control	-		7 b	75 b
				Amistar Xtra	Azoxistrobina + Cyproconazole	0.060 + 0.024	43 a	55 a
				Alto Bogard	Cyproconazole + Difenoconazole	0.025 + 0.038	46 a	58 a
2005/06	15	Cruz Alta	DM3700	Control	-		75 b	80 b
				Amistar Xtra	Azoxistrobina + Cyproconazole	0.060 + 0.024	33 a	32 a
				Alto Bogard	Cyproconazole + Difenoconazole	0.025 + 0.038	36 a	45 a
2005/06	16	Armstrong	3700	Control	-		69 b	71 b
				Amistar Xtra	Azoxistrobina + Cyproconazole	0.060 + 0.024	36 a	42 a
				Alto Bogard	Cyproconazole + Difenoconazole	0.025 + 0.038	35 a	44 a
2005/06	17	Armstrong	DM 4800	Control	-		69 b	70 b
				Amistar Xtra	Azoxistrobina + Cyproconazole	0.060 + 0.024	38 a	44 a
				Alto Bogard	Cyproconazole + Difenoconazole	0.025 + 0.038	40 a	74 b
2005/06	18	Monje	5901	Control	-		77 b	77 b
				Amistar Xtra	Azoxistrobina + Cyproconazole	0.060 + 0.024	47 a	57 a
				Alto Bogard	Cyproconazole + Difenoconazole	0.025 + 0.038	49 a	61 ab

### Impacto en el rendimiento

Las respuestas de rendimiento agronómico por las aplicaciones de fungicida, difirieron significativamente entre campañas agrícolas. Todos los fungicidas evaluados (tanto los IDM como sus mezclas con IQe) mostraron un control eficiente de las EFC.

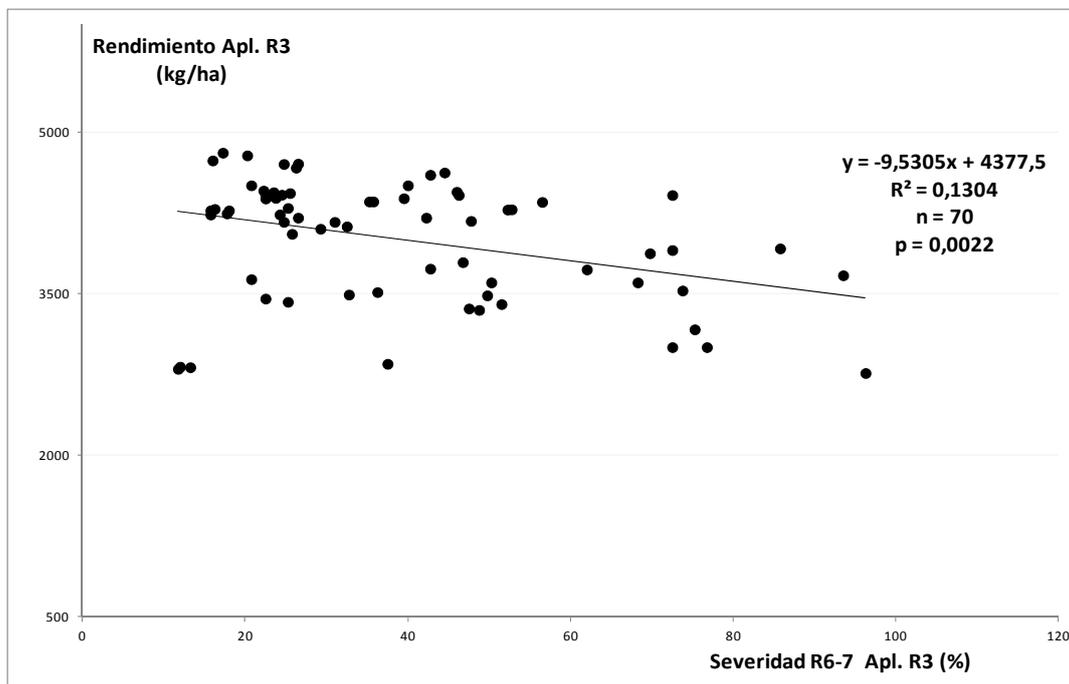
La cantidad total de lluvias durante el intervalo R1-R5 fue similar en todas las estaciones de crecimiento (Tabla 2). En contraste, la precipitación pluvial acumulada durante el período R3-R5 registró diferencias entre años (Tabla 2). Este intervalo fue más húmedo en 2005 (139 mm) y más seco en 2004 (64 mm). Las mayores respuestas de rendimiento fueron alcanzadas en 2005, cuando la precipitación pluvial acumulada entre los estadios R3 y R5 fue la mayor de todas las campañas agrícolas (Tabla 2).

**Tabla 2.** Respuestas de rendimiento de soja frente a aplicaciones de fungicida (Rendimiento de parcelas tratadas menos rendimiento de parcelas control sin aplicación) en R3 o R5 y precipitaciones medias acumuladas para los períodos R1-R3, R3-R5 y R1-R5 en tres campañas agrícolas. Las medias derivan de información recolectada de todas las localidades dentro de una campaña y tratamiento. <sup>a</sup> Se muestra el error standard de las medias.

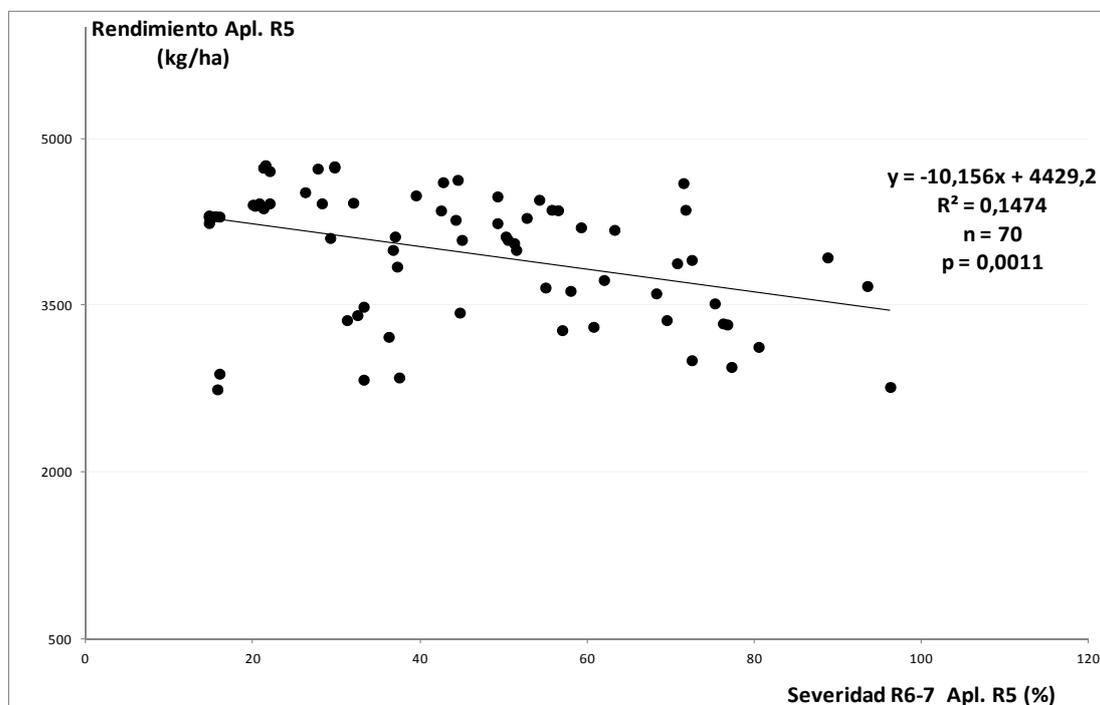
Campaña	Estado fenológico al momento de aplicación	Rendimiento promedio de parcelas tratadas (kg.ha <sup>-1</sup> ) <sup>a</sup>	Rendimiento promedio de parcelas control (kg.ha <sup>-1</sup> ) <sup>a</sup>	Respuesta de rendimiento promedio (kg.ha <sup>-1</sup> )	Precipitación pluvial media (mm)		
					R1-R3	R3-R5	R1-R5
2003/2004	R3	4236 ± 197	4137 ± 182	99	161	64	225
	R5	4235 ± 199		98			
2004/2005	R3	4039 ± 98	3508 ± 114	531	92	139	231
	R5	3936 ± 105		428			
2005/2006	R3	3968 ± 134	3639 ± 146	329	129	116	245
	R5	3889 ± 139		250			

En relación a la severidad de las EFC los valores obtenidos fueron diferentes en función de las campañas analizadas y en casi la totalidad de los casos la severidad de las parcelas con tratamiento fungicida difirieron significativamente del testigo sin tratar (Tabla 1). Sin embargo, la relación lineal entre rendimiento y

severidad fue muy pequeña y podrían ser consideradas variables casi independientes (Coeficientes de determinación ( $R^2$ ) 0,13 y 0,14) (Figuras 11 y 12).

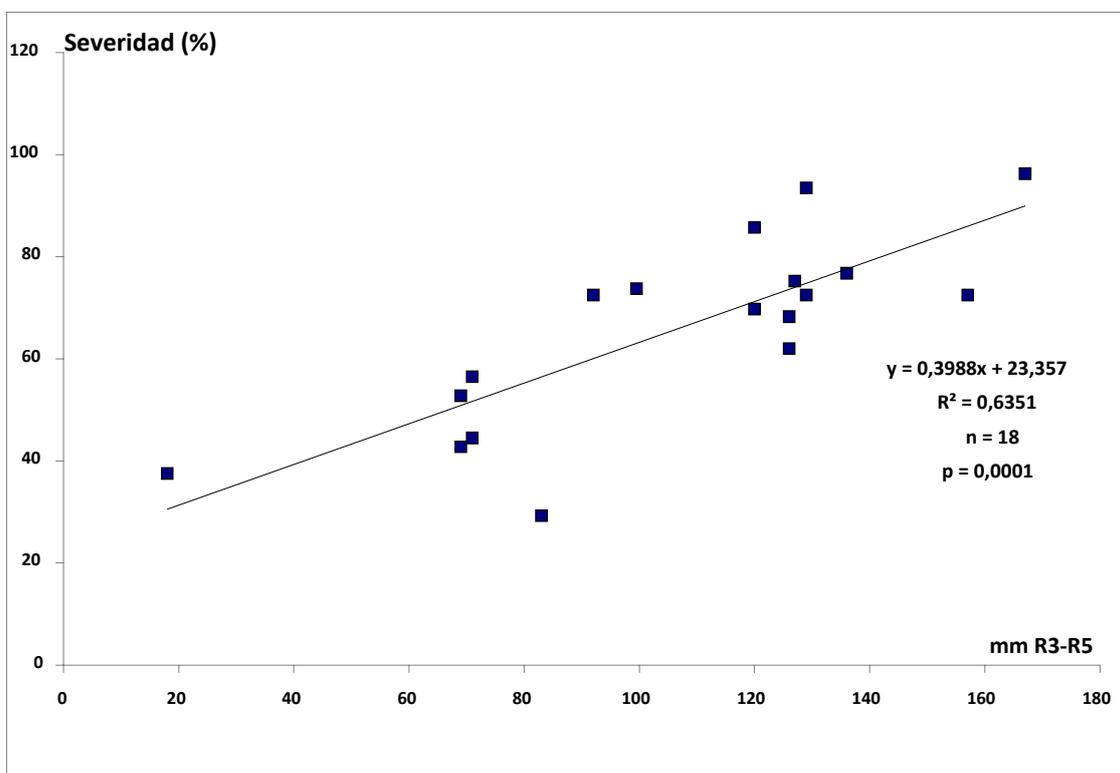


**Figura 11.** Relación entre rendimiento (kg/ha) obtenido y severidad estimada en R6-R7 en parcelas testigo y aplicadas en R3 para las tres campañas.



**Figura 12.** Relación entre rendimiento (kg/ha) obtenido y severidad estimada de las EFC en R6-R7 en parcelas testigo y aplicadas en R5 para las tres campañas

Cuando se analizó la asociación entre las precipitaciones pluviales ocurridas dentro del intervalo R3-R5, y la severidad estimada de las EFC en las parcelas testigo, se obtuvo una asociación lineal ( $R^2$ : 0,63), indicando que la severidad estuvo correlacionada con las precipitaciones.

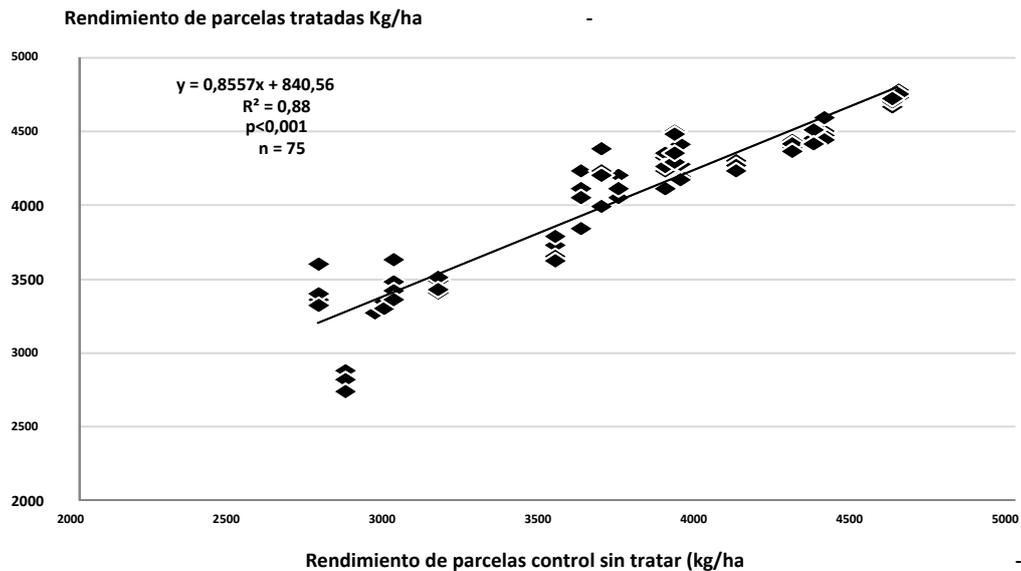


**Figura 13.** Relación entre la severidad estimada en parcelas testigo y la precipitación pluvial ocurrida entre R3-R5 para las tres campañas.

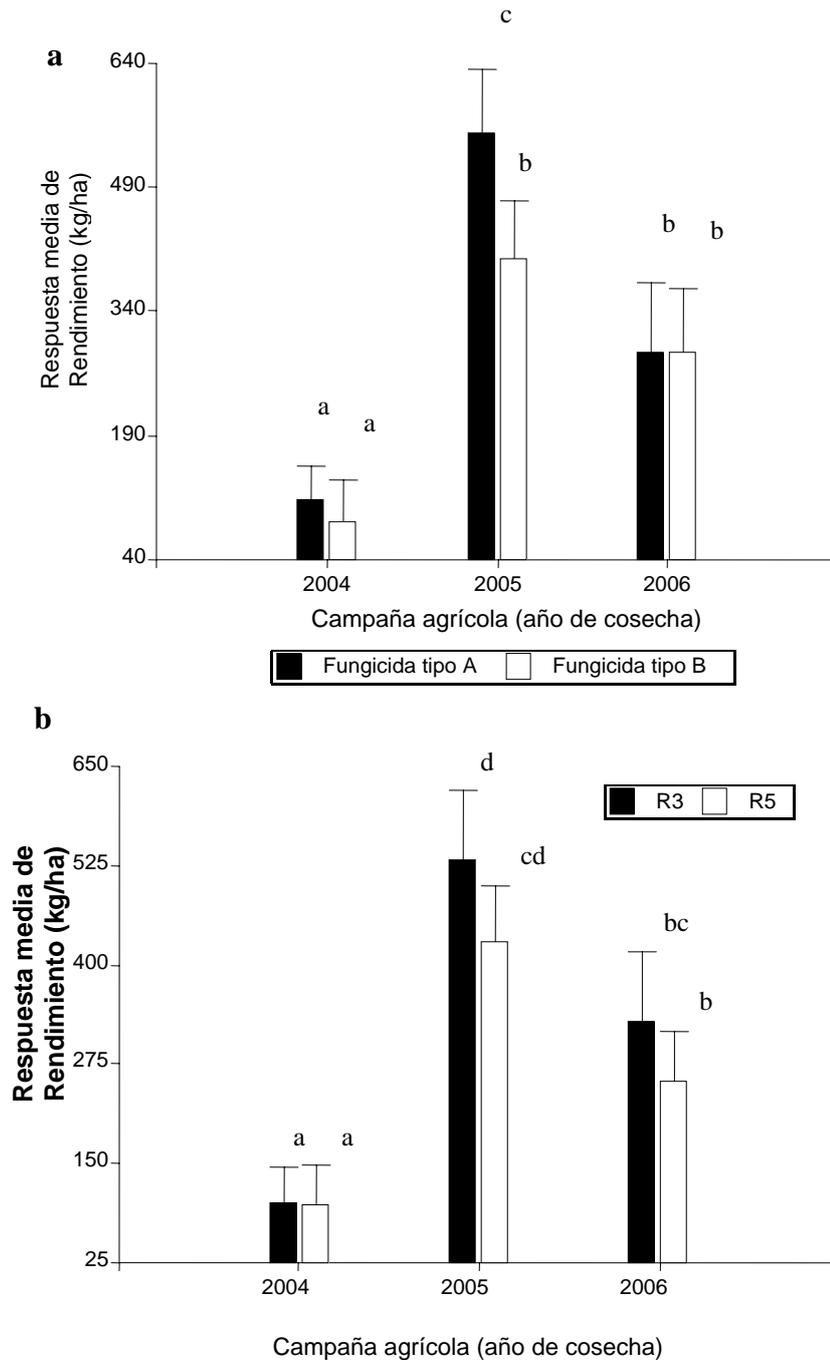
El modelo estadístico general aplicado para analizar la matriz de los 18 ensayos, resultó significativo. La correlación lineal entre el rendimiento de parcelas tratadas y no tratadas a lo largo de las tres campañas agrícolas fue elevada ( $R^2 = 0.88$ , Figura 14).

Al analizar los tres factores a estudiar se observó que los efectos principales tanto del año ( $P < 0.001$ ) como del momento de aplicación ( $P = 0.004$ ) fueron significativos, pero el momento de aplicación no interaccionó con el año o el tipo de fungicida. La única interacción significativa fue la campaña agrícola con el tipo de fungicida ( $P < 0.05$ ). El fungicida tipo A (IQe + IDM) fue más efectivo para el control de

las EFC en campañas con elevada precipitación pluvial entre R3-R5, (Figura 15 a). A pesar de que no se encontró ninguna relación entre el momento de aplicación y otros factores, hubo una tendencia de obtener mayores respuestas de rendimiento con una aplicación de fungicida en R3. Esta tendencia fue más marcada con elevados niveles de lluvia acumulada entre R3 y R5 (Figura 15 b).



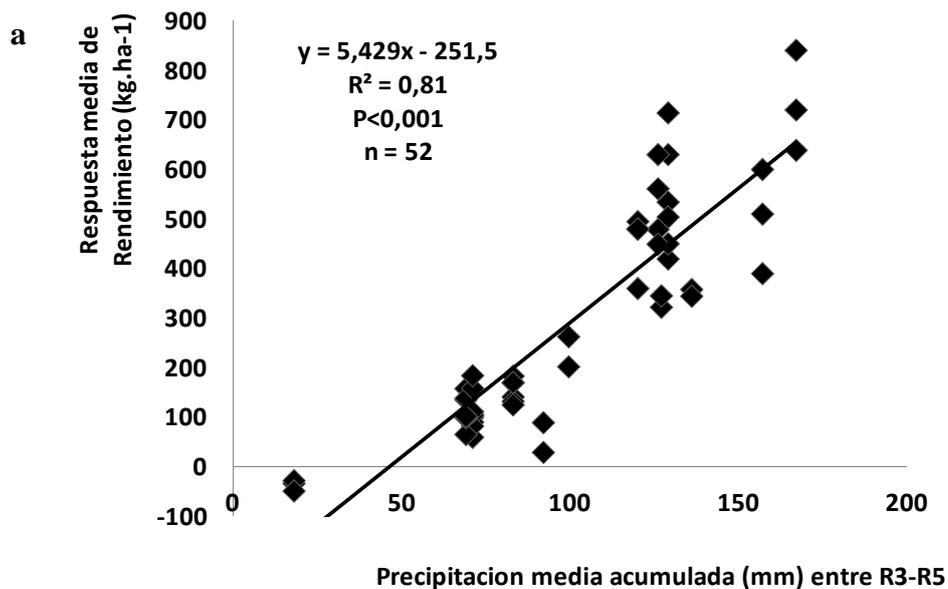
**Figura 14.** Relación entre el rendimiento de granos de soja en parcelas tratadas y no tratadas. Las medias derivan de información recolectada de todas las localidades, todas las campañas agrícolas, todos los momentos de aplicación y todos los fungicidas.

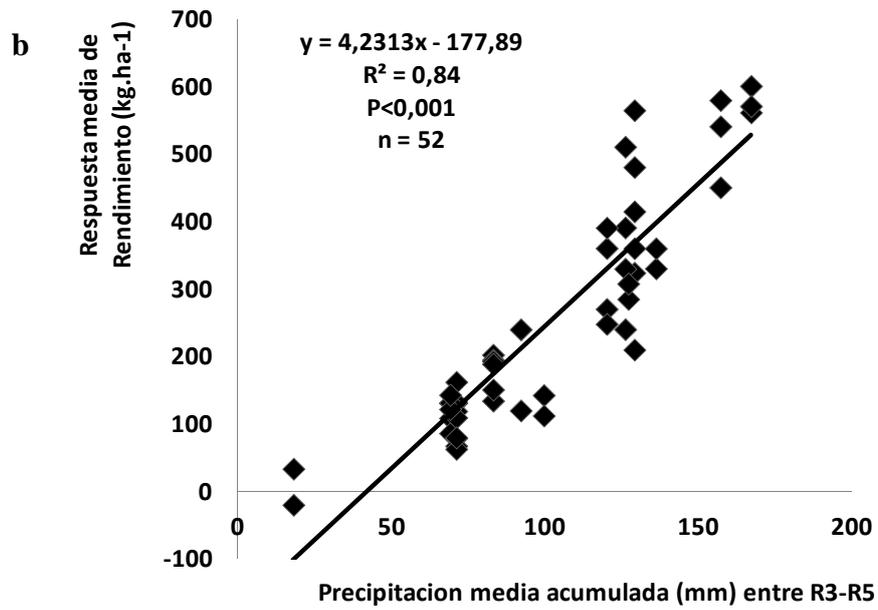


**Figura 15.** Respuesta media de rendimiento de granos de soja frente a la aplicación de fungicida (Rendimiento de parcelas tratadas menos rendimiento de parcelas control sin aplicación, expresada en kg/ha) para tres campañas agrícolas: (a) para dos tipos de fungicidas: tipo A = azoxistrobina + ciproconazole; tipo B = ciproconazole + difenoconazole en 2006 y 2005, difenoconazole + propiconazole en 2004; (b) para dos momentos de aplicación distintos (R3 y R5). Letras diferentes en cada barra corresponden a diferencias significativas en el nivel de 5 %.

Las relaciones lineales entre las respuestas de rendimiento y las precipitaciones durante el intervalo R3-R5 fueron significativas para ambos momentos de aplicación (Figura 16 a y b). Los coeficientes de determinación para esta relación, para los intervalos R1-R3, VE-R5 y VE- R6.5 no fueron significativos (Tabla 3), y los de la relación para los intervalos R4-R6, R4-R6.5 y R3-R6.5, si bien fueron cercanos a los valores logrados para la relación R3-R5, fueron generalmente más bajos (Tabla 3).

De manera general, estos datos muestran que las relaciones para el intervalo R3-R5 es la más robusta, con más del 80 % de la variabilidad en las respuestas de rendimiento a la aplicación de fungicida explicada por la cantidad de lluvia acumulada entre R3 y R5 ( $P < 0.001$ ) (Figura 16 a y b; Tabla 3).





**Figura 16.** Relación entre las respuestas de rendimiento de granos de soja (Rendimiento de parcelas tratadas menos rendimiento de parcelas control sin aplicación) a la aplicación de fungicida, y la lluvia media acumulada entre los estadios fenológicos R3-R5, para aplicaciones realizadas en: **(a)** R3; **(b)** R5. Todos los tipos de fungicidas fueron incluidos en el análisis.

**Tabla 3.** Coeficientes de determinación ( $R^2$ ) para las regresiones lineales de análisis de las respuestas de rendimiento de granos de soja (Rendimiento de parcelas tratadas menos rendimiento de parcelas control sin aplicación) a la aplicación de fungicida y la precipitación media acumulada (mm) entre diferentes estados de fenológicos (R3 a R5, R4 a R6, R4 a R6.5, R3 a R6.5, R1 a R3, VE a R5 y VE a R6.5), para dos mezclas de fungicidas aplicadas en dos estadios fenológicos distintos (R3 o R5). VE = emergencia (Fehr & Caviness, 1977).

Precipitaciones pluviales (mm)	Respuesta de Rendimiento (kg/ha)					
	IQe + IDM		Mezcla de IDM		Todos los fungicidas	
	R3	R5	R3	R5	R3	R5
R3-R5	0.79	0.77	0.79	0.91	0.81	0.84
R4-R6	0.69	0.54	0.60	0.64	0.68	0.61
R4-R6,5	0.80	0.76	0.67	0.66	0.76	0.75
R3-R6,5	0.77	0.77	0.73	0.83	0.79	0.86
R1-R3	0.18	0.14	0.23	0	0.20	0.12
VE-R5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
VE-R6,5	0.41	0.43	0.31	0.52	0.44	0.48

## DISCUSIÓN

Los patógenos registrados en este trabajo son los más frecuentemente asociados con las EFC en Argentina (Ivancovich & Botta, 2000; Diaz et al., 2005; Distéfano & Gadban, 2007; Couretot, 2011). La mayor frecuencia de *S glycines* y de *C. kikuchii* cuantificada en los discos de folíolos incubados confirma que estos hongos son los principales agentes patógenos responsables de las sintomatologías observadas a campo. Si bien es mas frecuente observar y registrar la presencia *C.*

*truncatum*, *G. glycines* y *Phomopsis spp* en tallos y vainas, y este último también en semillas (Sinclair, 1986; Sinclair, 1991; Kulik & Sinclair, 1999; Pioli et al., 2000; Wrather et al., 2004; Scandiani & Luque, 2009; Oddino et al., 2009; Hartman & Hill, 2010; Marinelli et al., 2011; Soto-Arias & Munkvold, 2011), su ocurrencia en los tejidos foliares demuestra que los mismos pueden también estar infectando los folíolos de soja. En relación a los peritecios de *C. destructivum*, (*G. glycines*) su presencia es frecuente en los campos de Argentina (Carmona et al., 2006; Ramos et al., 2013).

Si bien la severidad de las patologías fue menor en las plantas tratadas con productos químicos que en las parcelas testigo en todos los ensayos (con excepción de un tratamiento del ensayo 18) y en las tres campañas, no fue posible obtener una relación robusta entre severidad estimada en R6-R7 y rendimiento. De esta manera no es posible tomar la severidad cuantificada en R6-R7 como un buen estimador para cuantificar daños en el rendimiento, aunque sí para detectar diferencias de control entre tratamientos o analizar el final de la epidemia. Esta misma conclusión se deriva de la tesis de Doctorado de Dressler da Costa, (2005), donde se concluye que “las enfermedades causan daños sobre cultivares de soja, sin embargo la variación en los rendimientos no está directamente explicada por la variación en la severidad de las mismas”. De la misma manera en otra tesis Doctoral (Martins, 2003) se concluyó que la severidad no es un buen estimador para prever o estimar reducciones en el rendimiento y productividad de soja, ya que no existe relación directa entre la severidad y estas variables”. De la misma forma, Guerzoni (2001), en una investigación sobre EFC concluyó que la severidad no es un buen indicador para predecir los daños en el rendimiento, ya que no existe una relación significativa entre ellas. Probablemente mediciones secuenciales de la severidad y la valoración de otros indicadores (área foliar verde remanente, duración del área foliar sana, defoliación, interacción genotipo x fungicida, reflectancia y radiación, etc.) deberían también ser analizados para estudiar mejor esta asociación.

En relación a la metodología estadística aplicada en este trabajo, la misma se consideró útil y adecuada para abordar y cumplir con los objetivos propuestos. Este trabajo constó de los datos provenientes de 18 ensayos realizados en tres ciclos agrícolas (6/año) con un Diseño en Bloques Completamente Aleatorizados (DBCA) con 4 repeticiones por ensayo. Como es sabido el DBCA, permite controlar variaciones sistemáticas entre unidades experimentales de un mismo ensayo. Pero cuando además es necesario analizar una matriz de numerosos ensayos, existen fuentes adicionales de variabilidad que si bien son conocidas a priori, las mismas no son objeto de estudio (ej: tipo de suelo, fecha de siembra GM, genotipo, etc.). En este caso pueden utilizarse una o más covariables para aislar la variabilidad conocida y disminuir el error experimental. Por lo tanto al utilizar como covariable el rendimiento del testigo del mismo bloque que comparte el resto del manejo y ambiente, se pudo controlar en este análisis esa variabilidad. Este tipo de análisis es usado frecuentemente (Ceyhan & Goad, 2009) y permitió abordar el problema de la estructura compleja de la matriz de datos provenientes de 18 ensayos y tomar en cuenta el impacto de un gran número de variables de una manera sencilla. De esta forma, el objetivo del ANCOVA fue estimar y comparar las medias de los tratamientos después de ajustarlas por las diferencias en los niveles de la covariable (rendimiento de las parcelas testigo sin tratar), y resultó eficaz en detectar los efectos e interacciones planteadas mediante la remoción de una fuente de variación que podría aumentar el error experimental. Asimismo esta metodología permitió (una vez que se detectaron y analizaron los tres factores principales a estudiar: ciclo agrícola, momento de pulverización y tipo de fungicidas), conocer la significancia y las posibles interacciones. Una vez detectados y analizados estos resultados, se abordó el objetivo de estudiar la relación entre la respuesta del rendimiento a la aplicación del fungicida (rendimiento de la parcela tratada menos rendimiento de la parcela testigo sin fungicida) y la ocurrencia de precipitaciones en las diferentes etapas fenológicas en relación a los dos momentos de aplicación con el

fin de identificar si alguna podía explicar significativamente la variabilidad en las respuestas del rendimiento a la aplicación de fungicidas

Los resultados obtenidos muestran que el beneficio potencial de la acción de los fungicidas en el rendimiento de soja depende de la cantidad de lluvia registrada en el intervalo R3-R5 (Figura 16). A pesar de que las precipitaciones entre estos dos estados fenológicos ocurrieron luego de las aplicaciones de fungicida en R3 y antes de las efectuadas en R5, los efectos sobre el incremento de rendimiento debido a la actividad fungicida fueron semejantes para ambos momentos de aplicación (Figura 16). Esto sugiere que la lluvia tuvo probablemente un efecto muy importante sobre el desarrollo de las EFC durante el período más crítico del desarrollo de los granos en el cultivo de soja (período crítico de determinación del rendimiento del cultivo). Esta respuesta al rendimiento asociada a las lluvias, podría estar vinculada al incremento en la diseminación e infección de los principales patógenos de las EFC observados en el presente estudio (principalmente *S. glycines* y *C. kikuchii*, y en menor medida *C. truncatum*, *G. glicines* y *Phomopsis spp*). En relación a este aspecto, la asociación entre lluvias R3-R5 y la severidad foliar estimada al final del ciclo, indicó la influencia lineal de las lluvias, mostrando una mayor severidad a medida que las mismas fueron mayores (Figura 13). La mayoría de los agentes causales de las EFC de la soja poseen fructificaciones hidrofílicas y la lluvia tiene una función muy importante en la liberación, remoción, dispersión y germinación de las esporas de los patógenos cuyos géneros son *Septoria*, *Colletotrichum*, *Glomerella* y *Phomopsis* (Fitt et al., 1989; Maude, 1996; Carmona et al., 2009; Yorinori, 2011). Este hecho explica el efecto de la lluvia sobre el desarrollo de estas enfermedades, al ayudar en su dispersión en dos maneras distintas: 1) la salpicadura de las gotas de lluvia físicamente mueven las esporas dentro del canopeo, transportándolas desde tejidos de plantas enfermas o residuos de cultivo infectados hacia plantas sanas (Fitt et al., 1989; McGee, 1983). Este efecto es muy importante para *S. glycines* (Hemmi, 1915; Yorinori, 2011); 2) la lluvia provee la humedad y horas de mojado foliar necesaria para la germinación de

las esporas y la penetración del hongo en las plantas (Tekrony et al., 1985; Fitt et al., 1989; Yorinori, 2011). Estos aspectos epidemiológicos de las EFC permiten tener un mayor entendimiento de la asociación entre la cantidad de precipitación pluvial y la respuesta de rendimiento a la aplicación de fungicidas.

Aunque la humedad relativa y la duración del mojado foliar no fueron considerados en este análisis, se asume que mayores niveles de precipitación probablemente contribuyan a aumentar los valores de ambas variables, que son muy importantes para el caso de *C. kikuchii* (Schuh, 1993; Yorinori, 2011).

Las diferentes localidades en las que se realizaron los ensayos a campo pertenecen a la misma zona agro-ecológica (Hall et al., 1992; INTA, 2013), y cercanas entre sí, dentro de un área en donde las condiciones ambientales son semejantes, y muy probablemente las temperaturas no fueron un factor causante de diferencias en el desarrollo epidémico de las EFC entre ensayos.

A pesar de que los efectos fisiológicos de los fungicidas están bien documentados, especialmente en cereales (Grossmann et al., 1999; Bayles & Hilton, 2000), se asume tal como fuera demostrado por Dennis (2006), y por Swoboda & Pedersen (2009), en soja, que los fungicidas IQe presentan baja probabilidad de aumentar los rendimientos por otros mecanismos diferentes que no sean el del control de las enfermedades. En consecuencia, los fungicidas en soja sólo deberían utilizarse para el manejo de enfermedades, teniendo en cuenta las condiciones ambientales, riesgo de infección y la valoración del nivel de enfermedad como guía para decidir el momento de aplicación.

Identificar el período crítico para el control de las enfermedades es una de las herramientas más importantes para el manejo integrado de las mismas (Kantolic et al., 2003). El número de vainas y semillas en soja es determinado durante un período que comienza alrededor de la floración (R2-R3), y se extiende hasta el llenado de los granos (R5-R6) (Egli & Zhen-wen, 1991; Egli, 1993; Jiang & Egli, 1993). En ese período, el número de granos es el componente más fuertemente asociado con el

rendimiento del cultivo. De acuerdo con Kantolic y colaboradores (2003, 2007), el índice de área foliar verde (IAFV) y su duración durante este período son muy importantes para definir el rendimiento en grano. De esta manera, no es sorprendente que, si las condiciones para el establecimiento de una epidemia de EFC coinciden con este intervalo de desarrollo, hallan respuestas de rendimiento a la aplicación de fungicidas. Esta es la razón por la cual la aplicación de fungicidas en ensayos de campo en general, está basada muy frecuentemente en el estadio de crecimiento del cultivo de soja como una única visión fito-céntrica (Backman et al., 1979; 1984; Pataky & Lim, 1981; Phillips, 1984; Soto-Arias & Munkvold, 2011). A pesar de que muchos investigadores están de acuerdo en que los fungicidas deberían ser aplicados durante el período crítico para la determinación del rendimiento del cultivo (Pataky & Lim, 1981, Phillips, 1984; Akem 1995; Cagni Martins, 2003; Wrather et al., 2004; Yorinori, 2011), no fue posible encontrar información científica publicada sobre el momento mas apropiado de aplicación de fungicidas, dentro de esa amplia ventana fisiológica de aplicación. Así de esta forma, Phillips, (1984) sugiere que sería muy útil para los agricultores que se pueda identificar las situaciones de riesgo en las que el uso de fungicida tiene mayores probabilidades de generar una ganancia económica.

Los datos experimentales expuestos en el presente capítulo muestran que incrementos de rendimiento vinculados al uso de fungicidas fueron claramente percibidos en un determinado y bien definido intervalo de crecimiento del cultivo (desde R3 hasta R5), y estuvo fuertemente asociado a las precipitaciones pluviales ocurridas desde R3 en adelante. Por lo tanto, estos resultados muestran que la respuesta de rendimiento agronómico por la aplicación de fungicidas no depende exclusivamente del estadio de desarrollo del cultivo, es decir de la fenología, sino también de las precipitaciones pluviales que ocurran desde R3.

El desarrollo de epidemias de las enfermedades de las plantas depende del triángulo de la enfermedad (Agrios, 2005), es decir, que las epidemias se desarrollan como resultado de una combinación en el tiempo de los factores que resultan en una

enfermedad para las plantas: hospedante susceptible (la casi totalidad de los genotipos de soja que se siembran en la región pampeana son susceptibles a las EFC), disponibilidad de un patógeno virulento (todos los ensayos fueron sembrados con al menos dos años de monocultivo de soja) y un ambiente favorable o conductivo para el establecimiento y desarrollo de la enfermedad en el cultivo. De esta manera, la recomendación para la aplicación de un fungicida no debería basarse solamente en la fenología del cultivo. Las condiciones ambientales y la evaluación de los niveles de enfermedad presentes en el cultivo deberían usarse como una guía para la aplicación foliar de fungicidas en soja (Swoboda & Pedersen, 2009). Sin embargo, las EFC en particular tienen un largo período de incubación y latencia (Kulik, 1984; Sinclair, 1991; Larran et al., 2002, Yorinori, 2011) y cuando los síntomas generalmente se vuelven “visibles en el campo”, principalmente hacia el fin del ciclo de crecimiento del cultivo en los estadios R6 o R7, ya es demasiado tarde para el control químico (Klingelfuss & Yorinori, 2001; Oddino et al., 2009).

Por consiguiente, un modelo de riesgo basado en una variable ambiental sencilla de cuantificar, como la precipitación puede ser una herramienta útil cuando se decide realizar una aplicación de fungicida para el manejo de las EFC. El mismo puede ayudar a predecir las respuestas de rendimiento más probables a la aplicación de fungicidas como una función de la cantidad de lluvia acumulada desde R3 en adelante tal como fuera propuesto en otros cultivos (Hansen et al., 1994; Holden et al., 2007; Burke & Dunne, 2008; Kromann et al., 2009).

Para ello las funciones obtenidas en este trabajo podrían ser un aporte para orientar el uso de fungicidas en función de la respuesta esperada (Figura 16). En este sentido, para aplicar un sistema de soporte o ayuda a la decisión de aplicación de fungicidas en la mayoría de las situaciones prácticas de producción se proponen dos opciones: (i) medir la cantidad de lluvias desde R3 en adelante y cuando las lluvias acumuladas excedan aproximadamente 60 mm, (ver Figura 16) proceder con la aplicación del fungicida. Dependiendo de las condiciones ambientales, la aplicación de

fungicida podría realizarse en R3, R4 o R5. (ii) Proceder en base a un pronóstico climático muy preciso (tiempo y volumen). En este caso, cuando el pronóstico predice la ocurrencia de más de 60 mm de lluvia entre R3 y R5, proceder a la aplicación antes del comienzo de las precipitaciones. De esta manera, los tejidos estarían protegidos de la infección. Es de destacar que estos 60 mm tampoco son fijos ya que dependiendo del precio de la soja el valor económico de la respuesta en rendimiento podrá ser mayor o menor (Figura 16). Por lo tanto podrá haber años donde las precipitaciones que ocurran desde R3 que sirvan de umbral orientativo, sean menores o mayores a 60 mm, dependiendo fundamentalmente del precio de la soja y se relación con la respuesta esperada en el rendimiento (Figura 16).

Lo importante es que al menos pueda compensar el valor del fungicida a modo de umbral. Así, los productores de soja y asesores técnicos deberían medir la cantidad de lluvia precipitada desde R3 en adelante y, con la ayuda de pronósticos climáticos y de funciones matemáticas de predicción de rendimiento (como función de las lluvias y los precios de la soja y fungicidas obtenidas en este trabajo), determinar cuántos milímetros de lluvia justificarían económicamente el uso de fungicidas en los campos, siempre asumiendo la presencia de inóculo en residuos (rastros) de soja infestados, bajo sistema de monocultivo. Por ejemplo, un incremento de rendimiento de  $400 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  puede esperarse con 120 mm de lluvia entre R3 y R5 cuando el fungicida es aplicado en R3. Con solo unos pocos milímetros menos (100 mm) la respuesta predicha sería de  $300 \text{ kg/ha}$  (Figura 16). A modo de ejemplo el promedio histórico de precipitación (1994-2006) entre los estadios de crecimiento del cultivo R3 y R5 en Marcos Juárez, ubicado en el corazón del área en que se realizaron los ensayos es de alrededor de 80 a 90 mm. Considerando todo esto, el uso de fungicidas con una aplicación simple representaría una estrategia eficiente para el manejo de las EFC de la soja en el área de cultivo de la región Pampeana.

En el año más lluvioso (2005), se obtuvieron las mayores respuestas de rendimiento con aplicación de fungicida tempranas (R3) y con fungicidas tipo A (IQe e IDM en mezclas) (Figuras 15 y 16).

El retraso de las aplicaciones hasta R5 en años húmedos resulta en controles ligeramente menores de las EFC en comparación con tratamientos realizados en R3 (Tabla 2 y Figura 15). Esto indica la necesidad de continuar con más investigaciones para mejorar la definición de la ventana de tiempo para incorporar en un modelo de riesgo basado en la precipitación que puede ser una herramienta útil para guiar las aplicaciones de fungicida.

Esta propuesta podría ser mejorada o combinada con incidencias más específicas o con umbrales de precipitación o con la inclusión de nuevas variables ambientales. Estos hallazgos son concordantes con experiencias previas (Carmona et al., 2010), quienes encontraron que la precipitación durante los estadios de crecimiento de R3 a R5 se correlacionó con la severidad de las EFC. En esos experimentos se demostró que la severidad de las EFC mostró correlación con el número de días con precipitaciones mayores a 7 mm, con la precipitación total acumulada de lluvias mayores a 7 mm y con la interacción entre ambos parámetros. En dicho trabajo se concluyó que a través de la cuantificación de estas variables de la precipitación entre R3 y R5 fue posible predecir la intensidad de *S. glycines* y *C. kikuchii* en R7, principales patógenos integrantes de las EFC.

En el presente trabajo se han generado resultados a través del estudio de las precipitaciones pluviales y su relación con el impacto de los fungicidas. Si bien se ha obtenido una asociación entre lluvias en el período do R3.R5 y la severidad de las EFC (Figura 13) no se incorporaron como objetivos a estudiar, el abordaje de otras variables ambientales tales como temperatura máxima, mínima, humedad relativa, rocío, etc. que también podrían influir significativamente en la dispersión e infección de los agentes de las EFC. Nuevas hipótesis y ensayos podrán ser llevados a cabo para indagar las implicancias de estas y otras variables.

En relación a los fungicidas, los resultados de este trabajo mostraron que la mezcla de azoxistrobina y triazol produce una mayor respuesta de rendimiento en años con elevada precipitación. Probablemente, la combinación de fungicidas con diferente mecanismos de acción y la actividad de los IQe mejoraron el control de las EFC, particularmente en años lluviosos cuando estos patógenos son más activos. De manera general y en relación al proceso infeccioso, las estrobilurinas ejercen su acción protectora-preventiva evitando que entren los patógenos al hospedante y el IDM una acción curativa actuando sobre los patógenos ya instalados en el hospedante (Bartlett et al., 2002; Reis & Carmona, 2012). Sin embargo, en este trabajo, los diferentes tipos de fungicidas (mezclas de IQe e IDM, y mezclas de IDM) tuvieron la misma tendencia en el control de las EFC, y se comportaron de la misma manera a la precipitación acumulada durante los estadios R3 y R5.

Finalmente, será necesario estudios adicionales considerando aspectos agronómicos, genotipos, nuevos fungicidas y otras variables climáticas para la construcción de un sistema de decisión desarrollado y testeado a campo, con varios parámetros, para la programación del momento correcto de aplicación de fungicidas foliares, de manera de evitar aplicaciones innecesarias, riesgos de resistencia de patógenos, y para aumentar la rentabilidad de los productores agrícolas.

## **CONCLUSIONES**

Los patógenos *S. glycines* y *C. kikuchii* fueron los patógenos más frecuentes detectados en las síntomas foliares observados a campo

Existe una relación entre precipitaciones pluviales y severidad foliar de las EFC estimada entre los estadios R6-R7 de la soja.

Todos los fungicidas evaluados (tanto los fungicidas IDM como sus mezclas con fungicidas IQe) controlaron eficientemente las EFC estudiadas.

Las respuestas de rendimiento a las aplicaciones de fungicida difirieron significativamente entre campañas agrícolas.

Incrementos significativos de rendimiento en el cultivo de soja en respuesta a la aplicación de fungicidas para el control de las EFC, estuvieron fuertemente asociados a la cantidad de precipitaciones pluviales ocurridas entre los estados fenológicos de R3 y R5, independientemente del momento de aplicación.

## **BIBLIGRAFÍA. Capítulo 1**

- Agrios, G.N.** 2005. Plant Pathology. Elsevier-Academic Press, San Diego. pp.984.
- Akem, C.N.** 1995. The effect of timing of fungicide applications on control of frogeye leaf spot and grain yield of soybeans. *European Journal of Plant Pathology* 10:183-187.
- Almeida, A.M.R., F.F. Piuga, S.R.R. Marin, E. Binneck, F. Sartori, L.M. Costamilan, M.R.O. Teixeira, & M. Lopes.** 2005. Pathogenicity, molecular characterization, and cercosporin content of Brazilian isolates of *Cercospora kikuchii*. *Fitopatologia Brasileira* 30:594-602.
- Amorín, L.** 1995. Capitulo 16 Colonizacáo e reproducáo pp. 309-324 Em: A.; Kimati, H. & Amorin, L. Manual de Fitopatologia, Ceres, São Paulo, pp. 324, 1995.
- Backman, P.A., R. Rodríguez Cabaña, J.M. Hammond, & D.L. Turlow.** 1979. Cultivar environment and fungicide effects on foliar disease losses in soybean. *Phytopathology* 69:562-564.
- Backman, P.A., M.A. Crawford, & J.M. Hammond.** 1984. Comparison of Meteorological and Standardized Timings of Fungicide Applications for Soybean Disease Control. *Plant Disease* 68 (1): 44-46.
- Balba, H.** 2007. Review of strobilurin fungicide chemicals. *Journal of Environmental Science and Health Part B* 42:441–451.
- Bartlett, D.W., J.M. Clough, J.R. Godwin, A.A. Hall, M. Hamer & B. Parr-Dobrzanski.** 2002. Review, the Strobilurin fungicides. *Pest Management Science* 58: 649-662.
- Barreto, D.E., L.A. Rossi, E. Traut, & C. Fortugno.** 1981. *Hongos patógenos en semillas de soja*. IV Jornadas Fitosanitarias Argentinas. Libro de Resúmenes: 27. Fac.de Ciencias Agropecuarias. UNCb. Córdoba. 19 al 21 de agosto.
- Bailey, J.A. & M.J. Jeger (eds.)** 1992. COLLETOTRICHUM: Biology, Pathology and Control. 388 pp.

- Bayles, R.A. & G.J. Hilton.** 2000. Variety as a factor in the response of cereals to strobilurins. Proceedings of BCPC Conference. British Crop Production Council, Brighton. pp. 731–738.
- Burke, J.J. & B. Dunne.** 2008. Field testing of six decision support systems for scheduling fungicide applications to control *Mycosphaerella graminicola* on winter wheat crops in Ireland. Journal of Agricultural Science 146: 415-428.
- Cai, G. & R. W. Schneider.** 2008. Population structure of *Cercospora kikuchii*, the causal agent of Cercospora leaf blight and purple seed stain in soybean. Phytopathology 98:823-829.
- Carmona, M., D. Ploper, P. Grijalba, M. Gally, & D. Barreto.** 2003. Enfermedades de fin de ciclo del cultivo de soja. Guía para su reconocimiento y manejo. UBA, Buenos Aires, 25 pp.
- Carmona, M., M. Gally, P. Grijalba, V. Sugia, & E. Jaeggi.** 2004. Frequency and chemical control of causal pathogens of soybean late season diseases in the Pampeana Region. Proceedings of 7th World Soybean Research Conference, 4th International Soybean Processing and Utilization Conference, III Congresso Mundial de Soja. EMBRAPA, Foz de Iguazú. pp. 159.
- Carmona, M., M. Gally & S. Lopez.** 2005. Asian Soybean Rust: Incidence, Severity, and Morphological Characterization of *Phakopsora pachyrhizi* (Uredinia and Telia) in Argentina. Plant Disease 89: 109.
- Carmona, M., P. Lopez Achaval, M. Gally & F. Sautua.** 2006. Uso de mezclas de azoxistrobina y triazoles para el control de las enfermedades de fin de ciclo de la soja. Proceedings of 3th Congreso de Soja del MERCOSUR. AACSOJA, Rosario. pp. 322-325.
- Carmona, M., F. Sautua, S. Perelman, E.M. Reis & M. Gally.** 2009. Utilidad de las precipitaciones para predecir la respuesta al uso de fungicidas en el control de las EFC en soja. Proceedings of Mercosoja 2009, V Congreso de Soja del Mercosur. EMBRAPA, Goiânia. CD.

- Carmona M.** 2009. Desarrollo evolución y futuro de los fungicidas. Impactos en la agricultura. In: Ricci D. (Ed.). La Argentina 2050 La revolución tecnológica del agro. Hacia el desarrollo integral de nuestra sociedad, pp. 382-398. Buenos Aires, Argentina.
- Carmona, M., R. Moschini, G. Cazenave, & F. Sautua.** 2010. Relación entre la precipitación registrada en estados reproductivos de la soja y la severidad de *Septoria glycines* y *Cercospora kikuchii*. Tropical Plant Pathology 35 (2): 71-78.
- Cerkauskas, R. & J.B. Sinclair.** 1980. Use of paraquat to aid detection of fungi in soybean tissues. Phytopatology 70:1036-1038.
- Ceyhan, E., & C.L. Goad.** 2009. A comparison of analysis of covariate-adjusted residuals and analysis of covariance. Communications in Statistics Simulation & Computation 38 (10), 2019 - 2038.
- Couretot, L.** 2011. Efecto de las rotaciones de cultivos y labranzas sobre la severidad y altura de la planta con síntomas de Mancha Marrón de la Soja, causada por *Septoria glycines* Hemmi. M Sc Tesis Fac. Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Argentina 59 pp.
- Da Costa, D.I.F.** 2005. Controle de doenças de final de ciclo na cultura da soja. Ph. D. Tesis. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. 116 pp.
- Daub., M.** 1982. Cercosporin, a Photosensitizing toxin from *Cercospora* species. Phytopathology 72: 370- 373.
- Díaz, C.G., D. Ploper, M.R. Galvez, V. Gonzalez, M.A. Zamorano, H.E. Jaldo, C. Lopez & J.C. Ramallo.** 2005. Effect of late season diseases on the growth of different soybean genotypes in relation to planting date. Agriscientia 21(1): 1-7.
- Distéfano, S.G. & L.M. Giorda.** 1997. Enfermedades de la soja en Argentina. INTA Centro Regional Córdoba. 72 pp.
- Distéfano S. & L. Gadban.** 2007. Panorama fitopatológico del cultivo de soja en la campaña 2006–2007. Soja Actualización 2007. Informe de Actualización Técnica. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Marcos Juárez 7: 15–9.

- Egli, D.B. & Y. Zhen-wen.** 1991. Crop growth rate and seed number that seed number per unit area in soybean. *Crop Science* 31: 439–442.
- Egli, D.B.** 1993. Cultivar maturity and potential yield of soybean. *Field Crops Research* 32: 147–158.
- EMBRAPA.** 2009. Recomendações. XXX Reunião de Pesquisa de Soja da Região Central do Brasil 177, Documentos 310, 2009. Normas para Avaliação e Recomendação de Fungicidas para a Cultura da Soja. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA, Soja Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
- FAO.** 1995. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. El cultivo de la soja en los trópicos: mejoramiento y producción. Londrina. Embrapa-CNPSO.
- Fehr, W.R. & C.E. Caviness.** 1977. Stages of soybean development. Iowa State University Special Report 80: 11 p.
- Fernandez, P.G., A. Becker, M. Andreotti, J.R. Stangarlin & G.B. Dias.** 2002. Avaliação de incidência de doenças de final de ciclo e oídio na cultura da soja XI Encontro Anual de Iniciação Científica - de 1 a 4/10/2002 - Maringá – PR Universidade Estadual de Maringá/Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação.
- Ferreira, L.P., P.S. Lehman & A.M.R. Almeida.** 1979. Doenças da soja no Brasil. Londrina. . EMBRAPA-CNPSO. (Circular Técnica, 1). *Fungal Genetics and Biology*, vol. 27, nro 2-3: 186-198.
- Fitt, B.D.L., H.A. McCartney & P.J. Walklate.** 1989. The role of rain in dispersal of pathogen inoculum. *Annual Review of Phytopathology* 27: 241-270.
- Fungicide Resistance Action Committee (FRAC).** 2012. List of plant pathogenic organisms resistant to disease control agents. Online publication. <http://www.frac.info/frac/index.htm>.

- Guerzoni, R.A.** 2001. Efeito das doenças foliares de final de ciclo (*Septoria glycines* e *Cercospora kikuchii*) na duração da área foliar sadia da soja. Tesis de Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- Grossmann, K., J. Kwiatkowski & G. Caspar.** 1999. Regulation of phytohormone levels, leaf senescence and transpiration by the QoI fungicide kresoxim-methyl in wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Plant Physiology* 154: 805-808.
- Hall, A.J., C.M. Rebella, C.M. Ghera & J.P. Culot.** 1992. Field-crops systems of the Pampas. En: *Field Crop Ecosystems. Ecosystems of the World*. Persson C.J., Ed. Elsevier, Amsterdam, pp. 413-450.
- Hansen, J.G., B.J. Secher, L.N. Jørgensen & B. Welling.** 1994. Threshold for control of *Septoria spp.* in winter wheat based on precipitation and growth stage. *Plant pathology* 43: 183-189.
- Hara, K.** 1915. Spot disease of soybean. *Agr. Country*. 9:28.
- Hemmi, T.** 1915. A new brown spot disease of the leaf of *Glycine hispida* Maxim caused by *Septoria glycines* sp.n. *Transactions of Sapporo Natural History Society*. Vol 6 pp. 12-17.
- Hartman, G.L. & C.B. Hill.** 2010. Diseases of soybean and their management. En: *The Soybean: Botany, Production and Uses*. Singh G., Ed. CAB International, United Kingdom. pp. 276-299.
- Hartman, G.L., J.B. Sinclair, & J.C. Rupe.** 1999. Compendium of soybean diseases. Third edition. The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota. 100 pp.
- Hewitt, H.** 1998. Fungicides in crop protection. Chapter 4. Fungicide Performance. pp 87- 153. England, CABI.

**Holden, N.M., T. Hochstrasser, R.P.O. Schulte & S. Walsh.** 2007. Making Science Work on the Farm. Proceedings of A Workshop on Decision Support Systems for Irish Agriculture. Teagasc Environmental Research Centre, Johnstown Castle, Co, Wexford, Dublin. pp. 1-139.

**INTA.** 2013. Suelos y ambientes de Santa Fe y Córdoba. <http://inta.gob.ar/imagenes/santafe.jpg/view>

[http://rafaela.inta.gov.ar/mapas/suelos/\\_\\_\\_series/mj/marcoju%C3%A1rez\\_descripcion\\_general.htm](http://rafaela.inta.gov.ar/mapas/suelos/___series/mj/marcoju%C3%A1rez_descripcion_general.htm) y <http://inta.gob.ar/imagenes/cordoba.jpg>

**Ito, M.F. & M.A.S.Tanaka.** 1993. Soja: principais doenças causadas por fungos, bactérias e nematóides. Campinas. Fundação Cargill. (Série Técnica, 186). 1993.

**Ivancovich, A. & G. Botta.** 2000. Enfermedades de final de ciclo. Revista de Tecnología Agropecuaria 5 (13): 23.

**Jiang, H. & D.B. Egli.** 1993. Shade induced changes in flower and pod number and flower and fruit abscission in soybean. Agronomy Journal 85: 221–225.

**Kantolic, A., P. Jiménez & E. de la Fuente.** 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y calidad en soja. En: Producción de granos: Bases funcionales para su manejo. Satorre E., Benech-Arnold R., Slafer G.A., de la Fuente E., Miralles D., Otegui M.E., Savín R., Eds. Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires. pp. 167-201.

**Kantolic, A.G. & G.A. Slafer.** 2007. Development and Seed Number in Indeterminate Soybean as Affected by Timing and Duration of Exposure to Long Photoperiods after Flowering. Annals of Botany 99(5): 925-933.

**Kantolic, A. & M. Carmona.** 2012. Bases ecofisiológicas para a geração do rendimento: relação com o efeito de doenças foliares e com o uso de fungicidas em soja. En: Doenças da soja. E.M. Reis & R.T. Casa (organizadores). Ed. Passo Fundo: Berthier. pp. 12-54.

**Klingelfuss, L.H. & J.T. Yorinori.** 2001. Infecção latente de *Colletotrichum truncatum* e *Cercospora kikuchii* em soja. Fitopatologia Brasileira 26: 158-164.

- Kmetz, K.T., A.F. Schmitthenner, & C.W. Ellett.** 1978. Soybean Seed Decay: Prevalence of Infection and Symptom Expression Caused by *Phomopsis* sp., *Diaporthe phaseolorum* var. *sojae*, and *D. phaseolorum* var. *caulivora*. *Phytopathology* 68: 836-840 pp.
- Kulik M.M.** 1984. Symptomless infection, persistence, and production of pycnidia in host and non-host plants by *Phomopsis batatae*, *Phomopsis phaseoli*, and *Phomopsis sojae*, and the taxonomic implications. *Mycologia* 76: 274–291.
- Kulik, M.M. & J.B. Sinclair.** 1999. *Phomopsis* seed decay and pod and stem blight. In: Hartman, G.L., Sinclair, J.B., Rupe, J.C. (Eds.), *Compendium of Soybean Diseases*. American Phytopathological Society Press, St. Paul, MN, pp. 31-33.
- Kromann, P., A. Taípe, W.G. Pérez & G.A. Forbes.** 2009. Rainfall thresholds as support for timing fungicide applications in the control of potato late blight in Ecuador and Peru. *Plant Disease* 93: 142-148.
- Larran, S., C. Rollán, H. Bruno Ángeles, H.E. Alippi & M.I. Urrutia.** 2002. Endophytic fungi in healthy soybean leaves *Invest. Agr. Prod. Prot. Veg.* Vol. 17 (1), 173-178.
- Lehman, S.G.** 1950. Purple stain of soybean seeds. *North Carolina Agriculture Experimental Station Bulletin* 369:1-11.
- Lim, S.M.** 1980. Brown spot severity and yield reduction in soybean. *Phytopathology* 70:974-977, 1980.
- Lurá, M.C., M.G. Latorre Rapela, M.C. Vaccari, A. Soldano, M. Mattio & A.M. González.** 2011. Genetic Diversity of *Cercospora kikuchii* Isolates From Soybean Cultured in Argentina as Revealed by Molecular Markers and Cercosporin Production *Mycopathologia* 171:361–371.
- Lurá, M.C., J.A. Di Conza, A.M. González, M.G; Latorre Rapela, L. Turino, M.M. Ibáñez & V. Lacona.** 2007. Detección de variabilidad genética en aislamientos de *Cercospora kikuchii* contaminantes de un mismo sembradío de soja *Revista Argentina de Microbiología* 39: 11-14.

- Manandhar J.B, & G.L. Hartman.**1999. Anthracnose. En: Hartman, G.L., J.B. Sinclair & J.C. Rupe (Eds.) Compendium of soybean diseases. 4. ed. Saint Paul MN. APS Press. pp. 13-14.
- Mantecón, J.** 2008. Efficacy of chemical and biological strategies for controlling the soybean brown spot (*Septoria glycines*). Cien. Inv. Agr. 35(2): 211-214.
- McGee, D.C.** 1983. Epidemiology of soybean seed decay by *Phomopsis* and *Diaporthe* spp., Seed Sci. Technol. 11:719-729.
- McLean, K.S. & K.W. Roy.** 1988. Purple seed stain of soybean caused by isolates of *Cercospora kikuchii* from weeds pages. Canadian Journal of Plant Pathology 10:2, pp. 166-171.
- Marinelli, A., C. Cardetti, G. March, J. García & C. Oddino.** 2011. Efecto del momento de cosecha sobre la calidad de la semilla de soja. Proceedings of 2º Congreso Argentino de Fitopatología. AAF, Mar del Plata. p. 312.
- Martins, M.C.** 2003. Produtividade da soja sob influência de ocorrência natural de *Septoria glycines* Hemmi e *Cercospora kikuchii* (Matsuo & Tomoyasu) Gardner, com e sem controle químico. Ph. D. Tesis. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queirós, Universidade de São Paulo, Piracicaba SP, Brasil. 104 pp.
- Martins, M.C., R.A. Guerzoni, G.M.S. Câmara, P. Mattiazzi, S.A. Lourenço & L. Amorim.** 2004. Escala diagramática para a quantificação do complexo de doenças foliares de final de ciclo em soja. Fitopatologia Brasileira 29: 179-184.
- Maude, R.B.** 1996. Seedborne diseases an their control: Principles and practice. CAB International, Wallingford.280 pp.
- Martinengo de Mitidieri, I.Z.** 1986. Mancha parda de la soja *Septoria glycines* Hemmi. VI Jornadas Fitosanitarias Argentinas. Libro de Resúmenes: s/n. Fac. de Ciencias Agrarias del Comagüe. Neuquén. 8 al 11 de abril.
- Niero, A.R., R. Tratch & A.R. Pinto Junior.** 2007. Eficácia dos fungicidas no controle de doenças de final de ciclo (DFC) da soja. Revista Academica Curitiba 5: 19-25.

- O'Connell, R., S. Perfect, B. Hughes, R., Carzaniga, J., Bailey, & J. Green.** 2000. Dissecting the cell biology of *Colletotrichum* infection processes. En: *Colletotrichum: host specificity, pathology, and host-pathogen interaction*. APS Press, St. Paul, Minnesota, USA, pp: 57-77.
- O'Connell, R.J., A.B. Uronu, G. Waksman, C. Nash, J.P.R. Keon & J.A. Bailey.** 1993. Hemibiotrophic infection of *Pisum sativum* by *Colletotrichum truncatum* *Plant Pathology*, vol. 42, nro5, pp. 774-783 (1 p.1/4).
- Oddino, C., A. Molineri, A. Marinelli, J. García, S. Vargas Gil, M. Zuza & C. Conforto.** 2009. Efecto del control químico sobre la intensidad del tizón del tallo y de la vaina y el rendimiento de soja. XII Jornadas Fitosanitarias Argentinas 2009. Termas de Río Hondo, Santiago de Estero, octubre de 2009, PV 56.
- Pataký, J.K. & S.M. Lim.** 1981. Efficacy of benomyl for controlling *Septoria* brown spot of soybean. *Phytopathology* 71: 438-442.
- Perfect S.H., B. Hughes, R.J. O'Connell & J. Green.** 1999. *Colletotrichum: A Model Genus for Studies on Pathology and Fungal-Plant Interactions*. *Fungal Genet Biol* 27: 186-198
- Phillips, D.V.** 1984. Performance of foliar fungicide on soybeans in Geórgia. *Plant Disease* 68: 558-560.
- Pioli, R., R. Benavídez, E. Morandi, & M. Bodrero.** 2000. Estudio epidemiológico de patógenos fúngicos asociados a semillas y frutos de soja. *Fitopatología*, 35 (2):111-118.
- Ploper, D.L., R.M. Gálvez, V. González, H. Jaldo, M.A. Zamorano & M. Devani.** 2001. Manejo de las enfermedades de fin de ciclo del cultivo de soja. *Avance Agroindustrial* 22(1): 20-26.
- Pring, R.J., C. Nash, M. Zakaria & J.A. Bailey.** 1995. Infection process and host range of *Colletotrichum capsici*. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 46: 137-152.
- Ramos, A.M., L.F. Tadic, I. Cinto, M. Carmona & M. Gally.** 2013. Molecular characterization of *Colletotrichum* species causing soybean anthracnose in Argentina

Mycotaxon, Volume 123, January-March 2013 , pp. 457-465 (9)

**Reis, E. M; A.C. Reis & M. Carmona.** 2010. Manual de fungicidas: Controle químico de doenças de plantas. Ed: Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo , Brasil, 226 pp.

**Reis, E.M. & M. Carmona.** 2012. Fungicidas características, clasificación y principales usos. Proceedings of Seminario Técnico Internacional manejo de enfermedades en cereales de invierno y cultivos de verano: Criterios para el uso de fungicidas en trigo cebada y Soja. Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Paysandú. pp. 1-4.

**Reis, E.M., R.T. Casa & A.C. Reis.** 2012. Septoriose da soja. En: Doenças da soja. Reis E.M. & R.T. Casa, Eds. Universidade de Passo Fundo, RS Brasil. pp. 179-190.

**Ross, J.P.** 1975. Effect of overhead irrigation and benomyl sprays on late season foliar diseases, seed infection, and yields of soybean. Plant Disease Reporter, v. 59(10) pp 809-813.

**Sathiko Kudo A., L.E Bassay Blum & M. Arrais Lima.** 2011. Aerobiology of *Cercospora kikuchii*. Cienc. Rural Santa Maria.vol.41 no.10:1682-1688

**Schuh, W.** 1992. Effect of pod developing stage, temperature, and pod wetness duration on the influence of purple seed stain of soybean. Phytopathology 82:446-451.

**Schuh, W.** 1993. Influence of interrupted dew periods, relative humidity, and light on disease severity and latent infections caused by *Cercospora kikuchii* on soybean. Phytopathology 83: 109-113.

**Schuh, W. & A. Adamowicz.** 1993. Influence of assessment time and modeling approach on the relationship between temperature leaf wetness periods and disease parameter of *Septoria glycines* on soybeans. Phytopathology 83:941-948.

- Sinclair, J.B.** 1986. Multiple Fungal Infections of Soybean Seeds in Preharvest and Postharvest Deterioration 53-63 pp. In S.H. West (Ed) Physiological-Pathological Interactions Affecting Seed Deterioration CSSA Special publication Number 12 Madison, Wisconsin, 95 pages.
- Sinclair J.B.** 1991. Latent infection of soybean plants and seeds by fungi. *Plant Disease* 75:220-22.
- Siqueira de Azevedo Luis. A.** 2007. Fungicida sistêmicos teoria e pratica. 284 pp.
- Soto-Arias, J.P. & G.P. Munkvold.** 2011. Impacts of foliar fungicides on infection of soybean by *Phomopsis* spp. in Iowa, USA *Crop Protection* 30:577–580.
- Swoboda, C. & P. Pedersen.** 2009. Effect of Fungicide on Soybean Growth and Yield. *Agronomy Journal* 101: 352-356.
- Tekrony, D., R. Stuckey, D. Egli & L. Tomes.** 1985. Effectiveness of a point system for scheduling foliar fungicides in soybean seed fields. *Plant Disease* 69: 962-965.
- Walters H.J.** 1980. Soybean Leaf Blight Caused by *Cercospora kikuchii*. *Plant Disease* 64:961-962.
- Wolf, F.A. & S.G. Lehman.** 1922. Brown spot disease of soybean. *Journal of Agricultural Research*. 33:365-374.
- Wrather, J.A., J.G. Shannon, W.E. Stevens, D.A. Sleper & A.P. Arelli.** 2004. Soybean cultivar and foliar fungicide effects on *Phomopsis* sp. seed infection. *Plant Disease* 88: 721-723.
- Yorinori, J.T.** 1994 Disease, fungal disease. pp:37-60 in *Tropical soybean, improvement and production*. EMBRAPA-CNPSO. Rome, FAO.
- Yorinori, J.T.** 2011. Dfc e Mancha alvo. 5° Congreso de la Soja del MERCOSUR, MERCOSOJA 2011 pp 1- 4.

## **CAPITULO II**

### **Desarrollo y validación de un sistema de puntuación para el manejo químico de las enfermedades foliares de fin de ciclo**

#### **INTRODUCCIÓN**

Las enfermedades foliares del cultivo de soja constituyen importantes factores que limitan y disminuyen la producción y calidad del grano cosechado. Durante los últimos años los niveles de severidad de las denominadas enfermedades de fin de ciclo (EFC) se han incrementado en la Argentina, debido principalmente a la combinación del monocultivo de soja y labranza conservacionista. Esto ha generado un incremento en el uso de fungicidas con el fin de disminuir el impacto negativo de las EFC (Carmona, 2009).

El control químico, o quimioterapia, constituye una herramienta muy útil que debe formar parte de una estrategia definida de manejo integrado de las enfermedades (Waard et al., 1993). La aplicación de fungicidas ha demostrado en muchos cultivos, respuestas significativas en los rendimientos y en la calidad de la producción (Waard et al., 1993). Considerando la base epidemiológica del manejo de enfermedades, (Berger, 1977; APSnet, 2013), el uso de fungicidas pueden reducir el inóculo inicial (Ej. tratamiento de semillas) y/o disminuir la tasa de infección (aplicación foliar). El uso de fungicidas debe ser utilizado racionalmente para poder asegurar no sólo el retorno económico de la aplicación, sino también, para evitar impactos para el ambiente (Waard et al., 1993; Reis et al., 2010).

Cuando la disponibilidad de resistencia genética no fuera suficiente para evitar pérdidas económicas causadas por las enfermedades, la rotación de cultivos, o bien el

tratamiento de semillas y las demás prácticas culturales no reduzcan o eliminen el inóculo de los patógenos, el control químico, vía pulverización en los órganos aéreos es una medida de control de emergencia y rápida. De esta manera el uso de fungicidas en los órganos aéreos en muchos casos puede resultar necesario para asegurar la productividad de un cultivo afectado, pero dado que significa un costo adicional de producción (25-30 USD /ha), se debe determinar cuidadosamente la necesidad real de esta aplicación.

Para el cultivo de soja y para las EFC en particular, existen diversos criterios de recomendación de uso de fungicidas para el control químico de estas enfermedades que deben ser analizados para su mejor comprensión.

### **Criterios actuales de aplicación de fungicidas para las EFC**

De manera general, a la hora de aplicar fungicidas, prevalece la idea de priorizar sus efectos fisiológicos sobre el hospedante, más que sobre el manejo del patógeno (Brown-Rytlewski et al., 2009; Wise & Mueller, 2011; Paul et al., 2011). Existe una aceptación general entre los productores y asesores, que el principal objetivo de un fungicida es “proteger y curar al hospedante”, sin tener presente que dicha tarea se realiza también mediante su acción sobre los patógenos. De esta forma, muchos fungicidas son aplicados en función del estadio fenológico, o con la misión de que las hojas involucradas en la generación de rendimiento, reciban el químico sin considerar el nivel de severidad de la enfermedad presente e incluso en ausencia de la enfermedad (Weisz et al., 2011, Wise & Mueller, 2011). A modo de ejemplo, en soja la aplicación por estadio fenológico (R3 o R5; Fehr & Caviness, 1973), es uno de los criterios más usados (Swoboda & Pedersen, 2009; Soto-Arias & Munkvold, 2011). Sin embargo, por ejemplo la recomendación en R3, podría no resultar exitosa, si es que los agentes causales de las EFC no infectan en los próximos 15-20 días (o no ocurriesen suficientes lluvias), tiempo en que define en promedio el período de protección química de un producto. Este criterio, es exclusivamente fito-céntrico y se

basa en tomar en cuenta la duración del período crítico de generación de rendimiento (principalmente el momento de definición del número de granos/ha), del cultivo de soja. Desafortunadamente sólo toma en cuenta un vértice del triángulo de la enfermedad: el hospedante, dejando de lado el ambiente y al patógeno (EFC). Este criterio basado en la fenología, probablemente haya sido adoptado por la falta de información técnica relacionada con el momento de aplicación (Ward et al., 2013) y por la facilidad de su implementación ya que no requiere monitoreo ni diagnóstico (Reis, 2013).

Está claro que comprender el crecimiento y fenología del hospedante y su período crítico para la generación del rendimiento, es de importancia, pero no debe ser la única información que guíe la aplicación de fungicidas. Debe comprenderse, que la acción principal de un fungicida es interactuar con el hongo, su principal objetivo por el cual fue desarrollado.

En el Capítulo I se demostró que la aplicación por fenología no resulta consistente, cuando es considerado como único factor (sin considerarlo en interacción con el resto de los factores), debido a que el ambiente y en especial la ocurrencia y cantidad de lluvias de R3 a R5, son determinantes en la respuesta en el rendimiento cuando se usan fungicidas.

Un aspecto a destacar dentro de la aplicación, considerando el estado de desarrollo de la planta, es que también existen recomendaciones para aplicar fungicidas que contengan estrobilurinas, orientados exclusivamente por los beneficios fisiológicos comprobados de las mismas en cultivos como trigo, maíz, etc. sin considerar aspectos epidemiológicos o propios de la enfermedad (Dennis, 2006; Brown-Rytlewski et al., 2009).

En relación a estos aspectos y de acuerdo con Swoboda & Pedersen (2009), la probabilidad de que el uso de fungicidas incremente los rendimientos por otros mecanismos que no sean el de control de enfermedad, es baja. Dennis (2006), también realizó ensayos en soja coincidiendo con Swoboda & Pedersen (2009), en

que no existen ventajas económicas por aumento de rendimiento al aplicar estrobilurinas en ausencia o con niveles poco significativos de enfermedad. En consecuencia, según los mencionados autores, los fungicidas en soja sólo deberían utilizarse para el manejo de enfermedades, teniendo en cuenta las condiciones ambientales y la valoración del nivel de enfermedad como guía para decidir el momento de aplicación.

Otros de los criterios utilizados para orientar el control químico en Argentina, tiene como referencia a la mancha marrón (*Septoria glycines*), donde el protocolo sugiere aplicar si la mitad del tercio inferior de las plantas, que matemáticamente sería el 20 % de la altura total de la planta, presenta síntomas en los estadios reproductivos (Ivancovich, 2003; Sillón, 2012).

Esta propuesta considera a los síntomas, en este caso de mancha marrón, pero solo incluye a uno de todo el grupo de EFC, es decir a *S. glycines*. No considera al resto de los patógenos (*Phomopsis*, *Colletotrichum*, *Cercospora*, *Alternaria*, etc). Este criterio se basa en el hecho de que *S. glycines* es, entre los hongos patógenos de las EFC, el que aparece más tempranamente. No se han encontrado ensayos específicos que correlacionen este criterio de porcentaje de la altura de la planta con los síntomas de este patógeno, en respuesta al fungicida y con rendimiento de granos. Este recomendación, toma en cuenta la fenología del hospedante (R3-R5), y uno de los patógenos, pero no considera al vértice ambiental.

Un tercer criterio relaciona el momento de decidir la aplicación de un fungicida cuando la severidad provocada por *Cercospora kikuchii* es de 25 % al 30 % en el estrato superior de las plantas en estados reproductivos (Sillón, 2012). Esta propuesta también involucra al patógeno, en este caso al causante de tizón morado, incluyendo también, a un solo hongo de todo el grupo de EFC, sin considerar al resto de los patógenos (*Septoria glycines*, *Phomopsis spp*, *Colletotrichum spp*, *Alternaria sp*, etc). En este caso se deben diagnosticar niveles de severidad de la enfermedad de al menos 25 %, es decir que se debe cuantificar visualmente el área foliar afectada

previo a la toma de decisión. Asimismo requiere ajuste y entrenamiento visual para medir severidad (% de área foliar afectada) por parte de asesores y productores y la gran demanda de tiempo que ello implica. No se han encontrado ensayos específicos que ajusten y correlacionen este criterio de severidad por *Cercospora*, con respuesta al fungicida y rendimiento de granos. Este criterio toma en cuenta el estado de desarrollo de la planta (R3-R5) y a uno de los patógenos, pero no considera al vértice ambiental. Por lo mencionado anteriormente, debido a la diversidad de criterios existentes, es probable que muchas aplicaciones arrojen resultados erráticos e inestables.

Uno de los aspectos más destacables que es necesario considerar al momento de desarrollar un criterio de decisión es que dentro de las EFC, muchas de ellas presentan periodos de incubación y latencia largos (significando un tiempo desde la infección hasta la aparición de síntomas y fructificaciones de varios días) (Kulik, 1984; Sinclair, 1991; Larran et al., 2002; Klingelfuss & Yorinori, 2001; Yorinori, 2011), es decir, hay infecciones que avanzan lentamente y que no son visualizadas, como sí sucede con otras enfermedades. Por ello, los síntomas de las EFC desarrollan más intensamente hacia el final del ciclo del cultivo, en los estadios R6-R7 (Klingelfuss & Yorinori, 2001). Debido a estas características, y tal como ya se dijera en el Capítulo I, esta situación generalmente dificulta la adopción del control químico, ya que en esos estadios avanzados del cultivo el daño causado por las EFC ya se ha producido durante el período crítico del cultivo y es tarde para realizar una aplicación de fungicidas.

Por ello, la aplicación de fungicidas en base a la aparición o desarrollo de síntomas tiene un valor limitado, principalmente por la infección temprana y el desarrollo asintomático de la enfermedad que resulta en el desarrollo de síntomas mayormente al final del ciclo, y esto explica al menos en parte, la baja correlación entre síntomas, y la severidad en los estadios en donde deberían aplicar fungicidas (por ej. R3, R4, R5).

Dicha asociación para las EFC en general es errática y no significativa, a diferencia con lo que ocurre con otros patógenos de incubación y latencia cortas como la roya asiática de la soja o la mancha ojo de rana. Por ello en Brasil, tampoco existe un criterio práctico para aplicar fungicidas basado en la estimación de la severidad, por el contrario, el criterio que aun prevalece es el fito-céntrico basado en la fenología de la planta ya que se recomienda aplicar para EFC entre R3 a R5 sin considerar el nivel de enfermedad alcanzado (Hoffmann et al., 2004; Reis, 2013). Asimismo y para EE. UU., aún se continúan investigando protocolos para determinar el momento de aplicación de fungicidas para *C. kikuchii* (Ward et al., 2013).

Ante estas particularidades de las EFC y las dificultades para visualizar en tiempo los síntomas y decidir el momento correcto de la aplicación química, resultaría útil y necesario desarrollar un sistema de ayuda que pueda predecir el desarrollo a campo de dichas enfermedades, de manera de proceder con el uso de un fitoterápico en el momento crítico en que el cultivo necesita estar protegido ante las epidemias de las EFC sin depender exclusivamente de los síntomas visuales.

Los sistemas de decisión tienen por objetivo fundamental orientar a los productores en la toma de decisión del control de enfermedades. Los productores están preocupados por el aumento del costo de control químico y por determinar el mejor momento de aplicación, y a su vez los consumidores están atentos respecto de los efectos negativos del uso de fungicidas en el ambiente.

Muchos sistemas orientadores del control químico se fundamentan en la epidemiología de la enfermedad a controlar, en el ambiente y en las condiciones agronómicas. Algunos de ellos anuncian las infecciones futuras en función de la relación fuente de inóculo y condiciones climáticas ocurridas (Magarey et al., 2005).

De manera general, muchos modelos predictivos han mostrado ser una herramienta muy útil en la ayuda de decisión en la utilización de fungicidas en muchos cultivos (Murali & Secher, 1996; Jensen et al., 1998; Milne et al., 2001; Jörg et al., 2001; Carmona & Reis, 2001; Kiker & Ranjan, 2006; Audsley et al., 2006; Hagelskjær

& Jørgensen, 2007; Jørgensen et al., 2007; Te Beest et al., 2009). Para muchos de estos modelos predictivos, se han desarrollado softwares en la web, que permite a los productores y técnicos estimar el riesgo de las enfermedades en función del inóculo y ambiente para orientarlos en el momento de control químico. A modo de ejemplo, Kiker & Ranjan (2006), elaboraron un programa informático (lenguaje de programación Java) donde los productores deben incorporar resultados de sus monitoreos de campañas pasadas, condiciones ambientales e incorporar la fecha actual de la aparición de la enfermedad en el campo. Luego, con las variables económicas y los mapas de riesgo zonal, se ofrecen los escenarios donde es posible tomar las decisiones de manejo. Otros de los sistemas desarrollados pero en el cultivo de trigo, se basa en un modelo de predicción que incluye la precipitación pluvial, estado fenológico, severidad de la septoriosiis del trigo (*Septoria tritici*) y respuesta en el rendimiento por el uso de fungicidas. De esta forma el número de días con precipitaciones de 1 mm o más calculados en un periodo de 30 días desde encañazón, correlacionó con el ataque de *S. tritici* y con el uso de fungicidas. De un modo más integrador, Audsley et al. (2006), desarrollaron un sistema para todas las enfermedades foliares de trigo, donde no sólo incorporan el comportamiento sanitario del cultivar, ambiente y presión de inóculo, sino también consideran el canopeo, la interceptación de la radiación y el impacto de los fungicidas analizando la acción protectora o curativa. Otro modelo que incluye al ambiente es el desarrollado por Reis et al., (2013) para la roya asiática de la soja, mediante el análisis de los grados de temperatura acumulados y su relación con la biología del patógeno y el monitoreo a campo.

Para el caso particular de las enfermedades necrotróficas del cultivo de soja se han desarrollado investigaciones para estudiar cuales son algunas de las variables o factores que influyen o condicionan el desarrollo de las mismas. Así a modo de ejemplo, en otros países se han desarrollado sistemas de puntuación para la ayuda en la toma de decisión de aplicación de fungicidas para el manejo de enfermedades en

este cultivo (Stuckey et al., 1984; TeKrony et al., 1985; Malvick, 1998; Wrather & Sweets, 2000; Hoffmann & Reis, 2003, Brustolin et al., 2012). Sin embargo en Argentina no se han encontrado antecedentes de ningún sistema para orientar la aplicación química para las EFC.

Siguiendo con la línea de investigación de Stuckey et al. (1984), TeKrony et al. (1985) y de Wrather & Sweets (2000) en EE.UU., la clave es poder determinar qué condiciones ambientales y agronómicas, determinan o conducen a ataques más severos de las EFC, de manera de controlar químicamente a estas enfermedades, lo que debería tener un impacto económico, evitando aplicaciones innecesarias.

### **Objetivos Específico:**

Desarrollar y validar a campo un sistema de puntuación para el uso de fungicidas para las EFC, con especial referencia para la mancha marrón y el tizón púrpura.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Desarrollo del sistema de puntuación**

Se cuantificó algunos de los factores de riesgo, culturales a modo de valorar el impacto de los mismos sobre el desarrollo epidemiológico de las EFC. Cada factor recibió un puntaje según sea su impacto y contribución relativa a las epidemias de las EFC. Se tomó como base de estudio y análisis para la identificación de los factores, los resultados obtenidos en el capítulo anterior, información de la bibliografía específica relacionada con sistemas de puntuación previamente desarrollados (Backman et al., 1979; Tekrony et al., 1983; Backman et al., 1984; Stuckey et al., 1984; Malvick, 1998; Wrather & Sweets, 2000; Hoffmann, 2002) y aquellos factores de riesgo identificados en experiencias nacionales previas (Gally et al., 2004; Carmona et

al., 2004, Carmona et al., 2008; Carmona & Reis, 2009; Carmona et al., 2009; Couretot, 2011).

Luego del análisis, identificación y selección de algunos de los factores que indican riesgo epidemiológico, se elaboró un sistema donde el usuario potencial puede contestar rápidamente las preguntas u opciones presentadas para así obtener rápidamente, una recomendación resultante. De esta manera el usuario, contará con una grilla con varios puntos o ítems a contestar De acuerdo a su respuesta, obtendrá un determinado puntaje individual para cada ítem. La suma de todos los ítems, dará un puntaje final que orientará la decisión a tomar. En función del resultado de puntos obtenido se clasificará la orientación en tres posibles escenarios: 1) alta probabilidad de retorno económico de la aplicación; 2) necesidad de re evaluación y discusión sobre la conveniencia técnica y económica de la decisión analizando asimismo el pronóstico de precipitaciones y 3) poca factibilidad del retorno económico, no recomendándose la aplicación. El productor y técnico podrá hacer funcionar el sistema tantas veces quiera, o cuando ocurra algún cambio en su lote que modifique el escenario productivo o sanitario (síntomas, lluvias, expectativa de rendimiento, etc.).

### **Validación del sistema de puntuación**

Para validar a campo el sistema generado se realizaron 19 ensayos experimentales ubicados en las provincias de Buenos Aires, Entre Ríos y Tucumán en lotes de producción. Se incluyeron las campañas 2007/2008 (5 ensayos); 2008/2009 (4); 2009/2010 (4); 2010/2011 (4) y 2011/2012 (2). Todos fueron campos conducidos bajo monocultivo de soja, en siembra directa, cultivados con una variedad de amplia difusión y susceptible a las EFC.

Los tratamientos consistieron en aplicar un fungicida comercial en mezcla (estrobilurina + triazol) en tres momentos: a) en el estadio fijo de R3, b) en el estadio fijo de R5, y c) cuando el sistema de puntuación indicó proceder a la aplicación. También se incluyó una parcela testigo sin aplicación.

El diseño experimental fue de un DBCA con cuatro repeticiones. La mezcla de fungicidas fue aplicada con una pulverizadora de mochila de CO<sub>2</sub> presurizado equipada con una barra con tres conos llenos (Lurmark 30 HCX4), a la presión de trabajo de 3.16 kg/cm<sup>2</sup> y 150 l/ha<sup>-1</sup>. Se efectuó un seguimiento diario de las precipitaciones pluviales in situ en cada ensayo, cuantificando además todos los factores de riesgo solicitados por el sistema de puntuación. El rendimiento en grano expresado en kg/ha fue estimado en madurez fisiológica en cada tratamiento y ajustado a 130 g/kg de contenido de humedad.

En cada ensayo se utilizó el sistema por puntos, que según el puntaje obtenido, indicó la acción a seguir. En algunos casos se decidió no aplicar, en otros el sistema recomendó aplicar en R3, otros en R5 y algunos también en R4. En este último caso el experimento debió agregar un nuevo tratamiento (R4).

Como el objetivo del presente capítulo fue el de desarrollar un sistema de puntuación que oriente la aplicación de fungicidas, se consideró necesario cuantificar no sólo el rendimiento obtenido sino también el margen neto de la decisión.

Para calcular el margen neto (expresado en kg/ha) se procedió a calcular la diferencia entre Respuesta de rendimiento (Rendimiento Tratamiento - Rendimiento Testigo) y el costo de aplicación expresado como 92 kg/ha, el cual surge del cálculo: costo promedio del fungicida mas aplicación 25 USD /ha y del valor promedio de la tonelada de soja (270 USD /TN). Este valor promedio fue obtenido del promedio de todas las campañas involucradas en este estudio de validación.

Los resultados fueron analizados estadísticamente mediante análisis de varianza y Test de Tukey ( $p = 0,05$ ), para analizar los rendimientos para cada tratamiento y localidad. Para un mejor abordaje se analizó separadamente y por grupos, los ensayos según el sistema haya indicado no aplicar; aplicar en R3, aplicar en R4 y aplicar en R5 independientemente del año.

## RESULTADOS

### Desarrollo del sistema de puntuación

De acuerdo al análisis de riesgo de factores relacionados con la epidemiología de las EFC se identificaron y cuantificaron los siguientes factores para conformar el sistema de puntuación (Tabla 1).

#### **A. Precipitación pluvial ocurrida entre R3-R5.5**

Es uno de los factores de mayor importancia. Se relaciona con la frecuencia y duración del mojado foliar, así como también, con la germinación y diseminación de esporas. Consiste en determinar la cantidad de precipitaciones acumuladas desde R3 hasta R5 Su inclusión está fundamentada por los resultados obtenidos en el Capítulo 1

#### **B. 75 % de la precipitación pluvial ocurrida entre R3-R5 provino de lluvias de 7 mm o mayores.**

Las lluvias que superan el umbral de 7 mm (excluyen lloviznas y lluvias ligeras), podrían contribuir con una energía mínima para producir dispersión horizontal y vertical de esporas desde los picnidios de *S. glycines* y *Phomopsis*, o acérvulas de *Colletotrichum* spp y también, para asegurar el mojado para la infección de conidios de *Cercospora* (Carmona et al., 2010).

#### **C. Rotación de cultivos (historia agronómica del lote)**

Rotación con especies no hospedantes de patógenos de soja. Bajo rotación habrá menos fuente de inóculo (Hoffmann et al., 2004; Couretot, 2011).

#### **D. Sistema de labranza (siembra directa o labranza convencional)**

Las EFC son causadas en su mayoría por agentes necrotróficos que sobreviven en rastrojo, de allí su valoración. Cuanto más rastrojo en superficie, más riesgo de EFC (Couretot, 2011; Smirnof et al., 2013).

#### **E. Presencia de EFC en el cultivo de soja del año anterior (rastrojo)**

Es conveniente conocer los antecedentes sanitarios del lote, es decir, si es que proviene de soja e ira nuevamente a soja. Es una forma indirecta de estimar la fuente de inóculo, proveniente del rastrojo anterior. Se espera que si existieron síntomas el año anterior, existan potenciales fuentes de inóculo presentes en el mismo lote. Cuantifica el riesgo por la supervivencia de los agentes causales de las EFC que fueron observadas el año anterior.

#### **F. Calidad sanitaria de la semilla**

Se considera los patógenos asociados a la semilla y transmitidos a la plántula; en áreas bajo rotación de cultivos (Wilcox. 1973; Walters, 1980; McGee et al., 1980; Roy, 1982; Khare & Chacko, 1983; McGee, 1983; Franca Neto & West, 1989). Si no se hace análisis sanitario o tratamiento de semilla, la probabilidad de introducir o aumentar los patógenos causantes de EFC, es mayor ya que todos los agentes causales de EFC están presentes en semilla (Scandiani & Luque, 2009).

#### **G. Ciclo del cultivar**

De acuerdo a la región considerada, existen diversos genotipos con diferentes ciclos de madurez. Cuánto más largo sea el ciclo, mayor su probabilidad para enfermarse (efecto del mayor tiempo de exposición en el desarrollo de la epidemia).

#### **H. Producción destinada a semilla (destino de la producción)**

Si el lote es destinado a semilla, su manejo debe priorizarse con miras al control químico. Esta práctica, merece decisiones técnicas que tiendan a mejorar la calidad sanitaria de la semilla a cosechar.

#### **I. Potencial productivo del lote**

Se debe considerar como base la productividad media del lote, en años sin adversidades climáticas u otros factores anormales. Este factor está relacionado con los aspectos económicos. La medida del rendimiento potencial hace referencia a la capacidad del lote de permitir el retorno económico/ha.

#### **J. Presencia de síntomas en el lote**

Algunas veces, pueden observarse síntomas de *S. glycines*, *Colletotrichum spp.* o *C. kikuchii* más tempranamente, que pre-anuncian la presencia epidemiológica de las EFC, ya que como se mencionó anteriormente, la duración del período de incubación y latencia de varios de los patógenos de las EFC (Sinclair, 1991) son largas. Se valora la presencia o ausencia.

Se propone reconocer durante el monitoreo, algunos síntomas característicos de las enfermedades causadas por estos patógenos. La EFC que puede manifestar síntomas más tempranamente, aún en etapas vegetativas, es la mancha marrón causada por *S. glycines*. Es probable encontrar folíolos con pequeñas lesiones necróticas (marrones), rodeadas por un halo clorótico, en el tercio inferior de las plantas. Para confirmar tempranamente la presencia de *Colletotrichum spp.*, es importante detectar necrosis en la nervadura en el envés de la hoja, o visualizar pecíolos de folíolos necrosados, a partir de floración en adelante. Finalmente, para el caso de *C. kikuchii*, es también posible detectar tempranamente su presencia, al observar manchas violáceas o púrpuras en folíolos del tercio medio y superior de las

plantas, o en los pecíolos de sus folíolos, principalmente en plantas que reciben más intensa y directamente la radiación solar (por ej. borduras).

La categorización de la decisión final en base a la suma de todos los ítems, fue propuesto de la siguiente manera: Si fuera 33 puntos o superior, es altamente probable el retorno económico de la aplicación. Inferior a 23 puntos es poco probable. Entre 23 a 33 puntos, será necesario discutir con el técnico asesor, la conveniencia económica y técnica de la aplicación (cuanto más cerca de 33, mayor es la probabilidad). En estos casos se deberían analizar también los pronósticos de lluvia por ejemplo si el pronóstico anuncia períodos de precipitaciones y el cultivo está en buenas condiciones de crecimiento, y el puntaje obtenido está entre 23 y 33 puntos, se sugiere proceder a la aplicación. Por el contrario si el pronóstico no anuncia lluvias o las mismas son pocas, o el cultivo atraviesa un stress térmico y/o hídrico significativo, sería aconseja evitar o postergar la aplicación de fungicidas.

**Tabla 1.** Sistema de Puntuación propuesto para asistir la toma de decisión de aplicación de fungicida en Soja para el manejo de las EFC

			MAX	MIN
A. Precipitación pluvial desde R3 en adelante hasta R5	80 mm o Más	10	10	0
	65 a 80 mm	6		
	50 a 65 mm	2		
	50 o menos mm	0		
B. Precipitaciones de 7 mm o más	75 % de la Precipitación acumulada en ítem A fueron de lluvias de 7 mm o más	5	5	0
	<75 % de la Precipitación acumuladas en ítem A fueron de lluvias de 7 mm o más	0		

C. Historia agronómica del lote	Dos o más años de cultivo anteriores de soja	5	5	0
	Un año de soja cultivada	3		
	Sin cultivo de soja en el año anterior	2		
	Sin cultivo de soja en los dos años anteriores	0		
D. Sistema de labranza	Siembra directa o mínima	4	4	0
	Con remoción o entierro de rastrojo	0		
E. Presencia de EFC en el cultivo de soja del año anterior (rastreo)	SI	6	6	0
	NO	0		
F. Calidad sanitaria de la semilla	Semillas sin tratamiento con fungicida	3	3	0
	Semillas tratadas	0		
G. Ciclo del cultivar	Largo	4	4	2
	Medio	3		
	Corto	2		
H. Producción destinada a semilla	SI	5	5	0
	NO	0		
I. Potencial productivo del lote	Superior a 3000 kg/ha	4	4	1
	De 2.500 a 2999	3		
	De 2000 a 2499	1		
J. Presencia de síntomas en el lote	SI	6	6	0
	NO	0		

## **Validación**

Los ensayos se agruparon de acuerdo al momento en que se realizó la aplicación, tal cual lo sugirió el sistema de puntos. De esta forma de los 19 ensayos involucrados, el análisis de las variables que componen el sistema sugirió: a) no aplicar en tres de ellos b) aplicar en R3, en seis ensayos, c) aplicar en R4, en seis ensayos y d) aplicar en R5 en cuatro de ellos. (Tabla 2). En todos los análisis, las recomendaciones que surgieron al utilizar este sistema por puntos, siempre arrojaron los mayores rendimientos independientemente de la localidad y año considerado. De esta forma, tanto los márgenes netos y la respuesta en el rendimiento siguieron similar tendencia. La respuesta del rendimiento mayor fue de 1047 kg/ha. (Localidad América 2010).

**Tabla 2.** Datos de año de cosecha, variedad, tratamiento, rendimiento, respuesta en rendimiento, decisión arrojada por el sistema de puntuación (SP) y margen neto correspondiente a 19 ensayos de validación llevados a cabo en Argentina.

Año	Localidad	Variedad	Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)	Respuesta Rinde (kg/ha)	Puntos y Momento Aplic. según SP	Margen Neto (kg/ha)
2012	Tucumán	A 8000 RG	Testigo	2077	0		0
2012	Tucumán	A 8000 RG	R3	2065	-13	22; No Apl	-105
2012	Tucumán	A 8000 RG	R5	2160	83	22; No Apl	-9
2009	Pergamino SM	DM4800	Testigo	1634	0		0
2009	Pergamino SM	DM4800	R3	1567	-67	22; No Apl	-159
2009	Pergamino SM	DM4800	R5	1588	-46	22; No Apl	-138
2009	America LD	DM4670	Testigo	4044	0		0
2009	America LD	DM4670	R3	4086	42	28; No Apl	-50
2009	America LD	DM4670	R5	4036	-7	28; No Apl	-99
2008	Casares	DM3700	Testigo	4000	0		0
2008	Casares	DM3700	R3	4111	111	35, R3	19
2008	Casares	DM3700	R5	4222	222		130
2008	Lincoln	DM 4870	Testigo	4917	0		0
2008	Lincoln	DM 4870	R3	5217	300	31; R3	208
2008	Lincoln	DM 4870	R5	5133	217		125
2009	Gualedguaychú	N 6411	Testigo	2325	0		0
2009	Gualedguaychú	N 6411	R3	3058	733	32, R3	641
2009	Gualedguaychú	N 6411	R5	2677	352		260
2010	America	DM4670	Testigo	3836	0		0
2010	America	DM4670	R3	4882	1047	44, R3	955
2010	America	DM4670	R5	4239	403		311
2010	Pergamino SM	DM 4970	Testigo	3781	0		0
2010	Pergamino SM	DM 4970	R3	4299	518	35, R3	426
2010	Pergamino SM	DM 4970	R5	3838	57		-35

**Tabla 2.** Datos de año de cosecha, variedad, tratamiento, rendimiento respuesta en rendimiento, decisión arrojada por el sistema de puntuación (SP) y margen neto correspondiente a 19 ensayos de validación llevados a cabo en Argentina. Continuación.

Año	Localidad	Variiedad	Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)	Respuesta Rinde (kg/ha)	Puntos y Momento Aplic. según SP	Margen Neto (kg/ha)
2011	America LG	DM4670	Testigo	4011	0		0
2011	America LG	DM4670	R3	4366	355	36; R3	263
2011	America LG	DM4670	R5	4098	87		-5
2008	Villegas	DM 4870	Testigo	3787	0		0
2008	Villegas	DM 4870	R3	3773	-14		-106
2008	Villegas	DM 4870	R5	4076	289		197
2008	Villegas	DM 4870	R4	4233	446	35; R4	354
2009	Lincoln	DM 4870	Testigo	1657	0		0
2009	Lincoln	DM 4870	R3	1731	74		-18
2009	Lincoln	DM 4870	R5	1917	259		167
2009	Lincoln	DM 4870	R4	1991	333	34, R4	241
2010	Guauguaychú	N6126	Testigo	3665	0		0
2010	Guauguaychú	N6126	R3	4203	538		446
2010	Guauguaychú	N6126	R5	3903	238		146
2010	Guauguaychú	N6126	R4	4215	550	30; R4	458
2011	America ME	DM3700	Testigo	2420	0		0
2011	America ME	DM3700	R3	2328	-92		-184
2011	America ME	DM3700	R5	2202	-218		-310
2011	America ME	DM3700	R4	2546	126	42, R4	34
2011	Guauguaychú	RA 625	Testigo	4051	0		0
2011	Guauguaychú	RA 625	R3	4520	469		377
2011	Guauguaychú	RA 625	R5	4252	201		109
2011	Guauguaychú	RA 625	R4	4350	299	44, R4	207

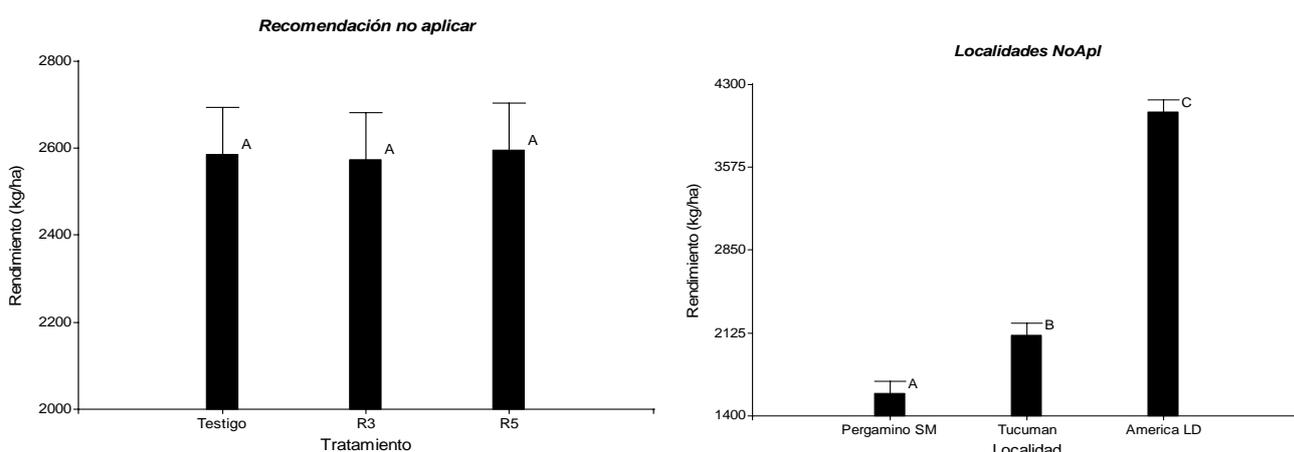
**Tabla 2.** Datos de año de cosecha, variedad, tratamiento, rendimiento respuesta en rendimiento, decisión arrojada por el sistema de puntuación (SP) y margen neto correspondiente a 19 ensayos de validación llevados a cabo en Argentina. Continuación.

Año	Localidad	Variedad	Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)	Respuesta Rinde (kg/ha)	Puntos y Momento Aplic. según SP	Margen Neto (kg/ha)
2012	Paraná	NA5909RG	Testigo	3014	0		0
2012	Paraná	NA5909RG	R3	3214	200		108
2012	Paraná	NA5909RG	R4	3345	331	35; R4	239
2012	Paraná	NA5909RG	R5	3309	295		203
2008	Pergamino	DM 3700	Testigo	3632	0		0
2008	Pergamino	DM 3700	R3	3731	98		6
2008	Pergamino	DM 3700	R5	3846	214	30; R5	122
2008	Daireaux	DM4870	Testigo	4127	0		0
2008	Daireaux	DM4870	R3	4280	154		62
2008	Daireaux	DM4870	R5	4478	351	35; R5	259
2010	Pergamino SF	4613	Testigo	3013	0		0
2010	Pergamino SF	4613	R3	3251	237		145
2010	Pergamino SF	4613	R5	3328	314	41, R5	222
2011	Pergamino	A 4613	Testigo	2191	0		0
2011	Pergamino	A 4613	R3	2317	126		34
2011	Pergamino	A 4613	R5	2503	313	32, R5	221

### Recomendación de no aplicar

En los tres ensayos donde los indicadores del sistema sugirieron no realizar la aplicación, los rendimientos no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos químicos fijados por fenología en R3 y R5 y el testigo sin aplicar (Figura 1). El análisis estadístico mostró diferencias en rendimiento entre las localidades donde se realizaron los ensayos. De esta forma América, Pergamino y Daireaux se

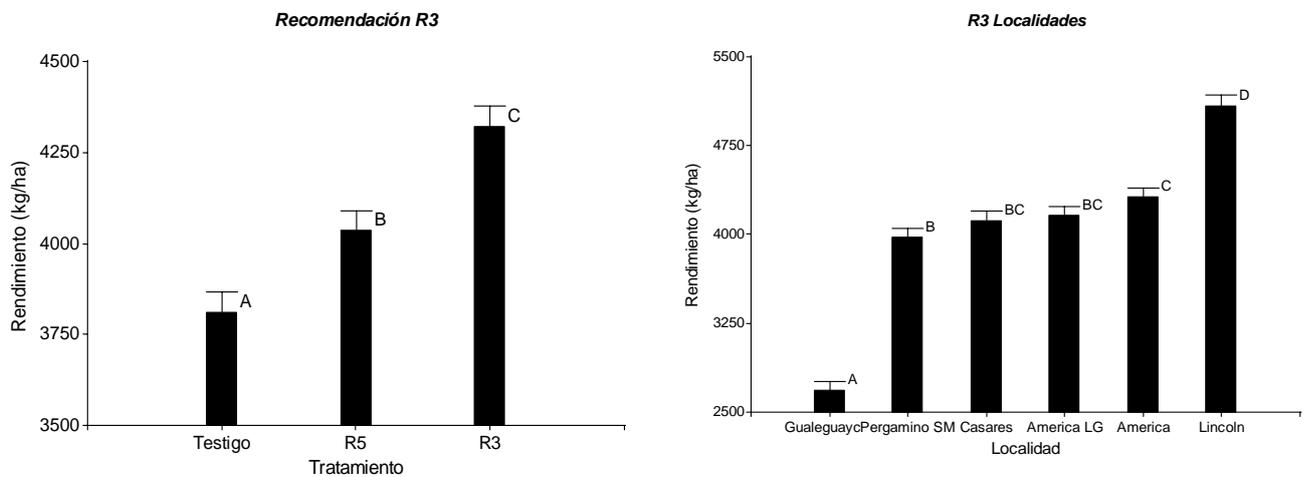
diferenciaron significativamente entre sí al analizar los rendimientos obtenidos en cada una de estas localidades (Figura 2), siendo América la localidad donde se obtuvo el mayor promedio de rendimiento. No existió interacción Tratamiento X Localidad significativa. Los márgenes netos obtenidos de estos ensayos y recomendaciones arrojaron valores negativos en relación al testigo (Tabla 2).



**Figura 1.** (Izq) Rendimientos obtenidos en las parcelas testigo, aplicación en R3 y R5 de 3 ensayos donde el sistema recomendó no aplicar. **Figura 2.** (Der.) Rendimientos según las localidades involucradas en los ensayos donde el sistema recomendó no aplicar.

### Recomendación de aplicar en R3

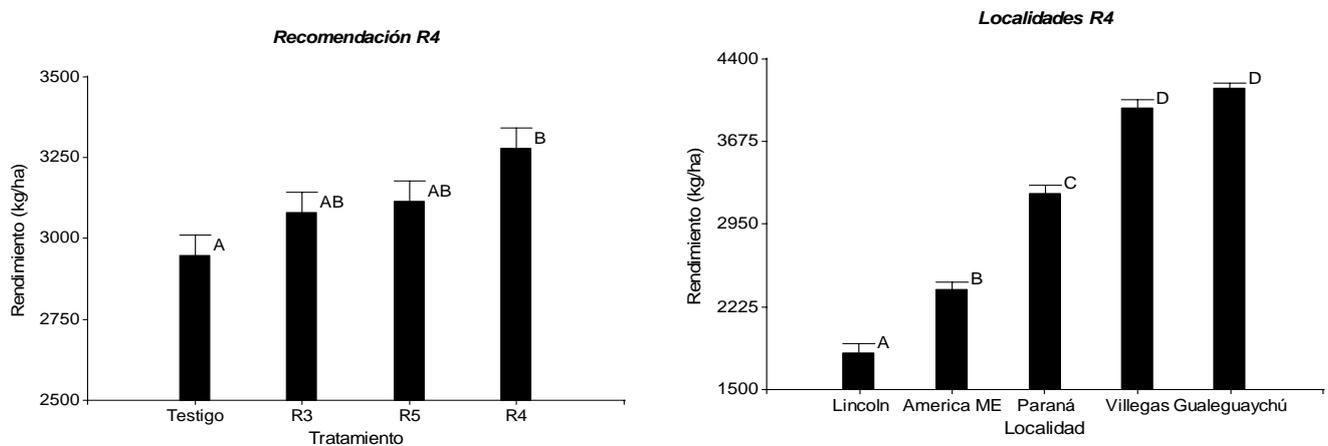
En los seis ensayos donde las variables del sistema sugirieron que se realicen las aplicaciones en R3, los rendimientos obtenidos en este estadio fenológico se diferenciaron significativamente del testigo y de la aplicación fijada por fenología en R5 (Figura 3). El análisis estadístico mostró diferencias entre las localidades donde se realizaron los ensayos (Figura 4), siendo Lincoln la que logró el mayor promedio de rendimiento y Gualeguaychú el menor ( $p < 0,05$ ). No existió interacción Tratamiento X Localidad significativa.



**Figura 3.** (Izq.) Rendimientos obtenidos en las parcelas testigo, aplicación en R3 y R5 de 6 ensayos donde el sistema recomendó aplicar en R3. **Figura 4.** (Der.) Rendimientos según las localidades involucradas en los ensayos donde el sistema recomendó aplicar en R3.

### Recomendación de aplicar en R4

En los seis ensayos donde el análisis de las variables del sistema indicó que se realicen las aplicaciones en R4, los rendimientos obtenidos en este estadio fenológico fueron los de mayor valor y los únicos que se diferenciaron significativamente de los del testigo (Figura 5). Las aplicaciones consideradas en base a los estadios fenológicos de R3 y de R5, mostraron rendimientos que no se diferenciaron de los obtenidos en las aplicaciones de R4 pero tampoco se diferenciaron de los del testigo (Figura 5). El análisis mostró diferencias estadísticas entre las localidades donde se realizaron los ensayos. (Figura 6), siendo Gualeguaychú y Villegas los de mayor rendimientos ( $p < 0,05$ ) y Lincoln el menor. ( $p < 0,05$ ) No existió interacción Tratamiento X Localidad significativa.

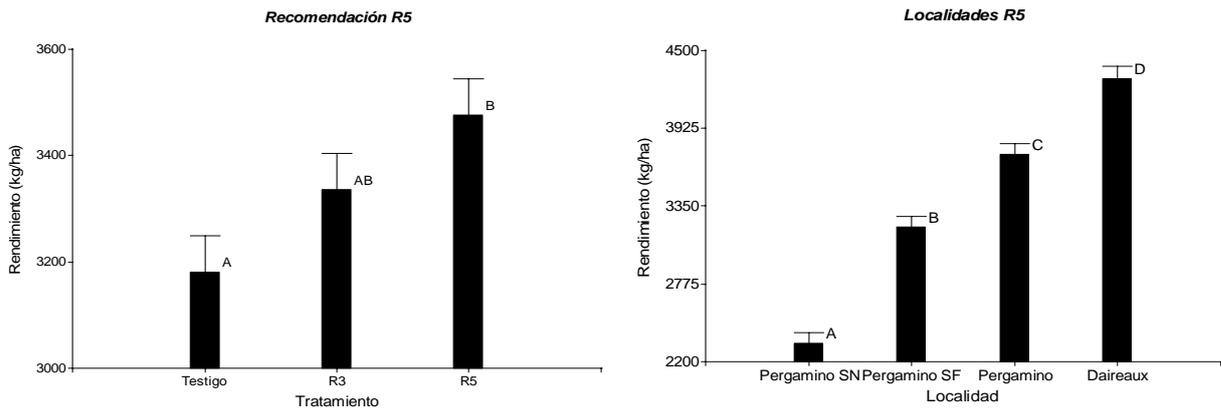


**Figura 5.** (Izq.) Rendimientos obtenidos en las parcelas testigo, aplicación en R3, R4 y R5 de 6 ensayos donde el sistema recomendó aplicar en R4. **Figura 6.** (Der.) Rendimientos según las localidades involucradas en los ensayos donde el sistema de puntuación recomendó aplicar en R4.

### Recomendación de aplicar en R5

En los cuatro ensayos donde las variables del sistema sugirieron que se realicen las aplicaciones en R5, los rendimientos obtenidos en este estadio fenológico fueron los de mayor valor y los únicos que se diferenciaron significativamente de los del testigo (Figura 7). La aplicación fijada por fenología en R3 si bien no se diferenció de la de R5 tampoco se diferenció de los del testigo.

El análisis estadístico mostró diferencias entre las localidades donde se realizaron los ensayos, siendo la localidad de Daireaux donde se obtuvieron los mayores rendimientos y Pergamino SN los de menor ( $p < 0,05$ ) (Figura 8). No existió interacción Tratamiento X Localidad significativa.



**Figura 7.** (izq.) Rendimientos obtenidos en las parcelas testigo, aplicación en R3, y R5 de 4 ensayos donde el sistema recomendó aplicar en R5. **Figura 8.** (der.). Rendimientos según las localidades involucradas en los ensayos donde el sistema de puntuación recomendó aplicar en R5.

## DISCUSION

### Desarrollo del sistema de puntuación

El sistema obtenido tiene como utilidad, orientar el momento de la aplicación de fungicidas para el control de las EFC, evitando aplicaciones innecesarias o fijas por fenología y asegurando una respuesta en los rendimientos cuyo margen neto sea rentable. En nuestro país no existe un sistema que oriente o auxilie al productor y asesor, en la toma de decisiones para realizar aplicaciones de fungicidas.

Las lluvias constituyen un factor muy importante dentro de la valoración relativa de este sistema, debido a que en general fungicidas aplicados para el control EFC en períodos de sequía no incrementan significativamente el rendimiento, ya que estas enfermedades no se desarrollan epidémicamente en esas condiciones (Backman et al., 1979; Hoffmann, 2002; Carmona, 2006).

Backman y colaboradores (1984), realizaron estudios en un período de cuatro años y en cuatro localidades buscando comparar sistemas de aplicación de fungicidas y determinar el impacto económico de su aplicación. El programa patrón de aplicación

que consistió en dos aplicaciones en los estadios R3 y R5, tuvo retorno inferior al programa que utilizaba los datos meteorológicos.

Existen antecedentes de sistemas de puntuación para las EFC que valoran los factores que más contribuyen a la ocurrencia y aumento de la intensidad de estas enfermedades, cuyo objetivo principal es orientar el control químico (Stuckey et al., 1984). De esta manera, y a modo de ejemplo, en EEUU se han desarrollado algunos sistemas que han involucrado variables ambientales y epidemiológicas. El sistema desarrollado por Shurtleff et al. (1980), se basa en las lluvias, mojado foliar, humedad relativa, sistema de cultivo, ciclo de cultivar, historia del lote, potencial productivo y presencia de picnidios en los pecíolos caídos. El sistema de Tekrony y colaboradores (1985), toma en consideración la historia del lote, ciclo del cultivar, fecha de siembra y lluvias. Otros de los sistemas de puntuación en soja para orientar en control químico fue desarrollado por la Universidad de Illinois (Malvick, 1998). En este sistema se ponderaron varios factores de riesgo (lluvias, monocultivo, presencia de picnidios y síntomas de *S. glycines*, calidad de semilla, rendimiento esperado), para llegar a una suma total de puntos y decidir la aplicación a partir de floración.

Más recientemente, Wrathner & Sweets (2000), propusieron un sistema de puntos para orientar el uso de fungicidas considerando varios factores desde floración. En Brasil se han desarrollado recientemente algunos sistemas como los usados por la Agropecuária SLC, por Cooplantio (Gassen, Com personal) y el sistema desarrollado por Hoffmann (2002), ambos incluyen las precipitaciones. Por lo tanto y tal como se concluyó en el Capítulo I, las precipitaciones, serían las que más ayudarían a definir la respuesta a la aplicación de fungicida.

En otras enfermedades y/o cultivos existen sistemas de puntuación semejantes que han sido de gran utilidad. Sólo a modo de ejemplificar el desarrollo y utilidad de este tipo de herramientas, se describen a continuación algunos sistemas. Para *Sclerotinia sclerotiorum* en soja, Brustolin et al., 2012, propusieron una tabla de puntos para decidir el uso de fungicidas que incluyen, entre otros factores, la ocurrencia o

previsión de lluvias, años de monocultivo, origen y sanidad de la semilla, etc. En otro ejemplo en el cultivo de trigo, Carmona & Reis (2001), desarrollaron un sistema de puntuación para estimar el potencial de rendimiento en dicho cultivo para valorar la aplicación de fungicidas para el control económico de enfermedades. De la misma forma, en colza han desarrollado varias propuestas de sistemas de puntuación (Lamey & Bradley, 2003), a su vez Burke & Dunne (2008), validaron un sistema de decisión para el manejo de *Septoria tritici* en trigo en Irlanda. Hansen y colaboradores (1994) desarrollaron un umbral para el manejo de *Septoria* spp de acuerdo al estado fenológico y lluvias.

Debe destacarse, que el sistema de puntuación desarrollado en este trabajo considera las lluvias entre inicios de R3 y R5, como aquellas que mejor se relacionan estadísticamente con el uso de fungicidas y la respuesta al rendimiento (ver Capítulo I). El productor/asesor podrá utilizar el sistema tantas veces quiera o se produzcan cambios en algunos de los factores que lo integra (por ejemplo lluvias, rendimiento potencial, aparición de síntomas, etc.). El sistema podrá indicar aplicar o no aplicar y eso será independiente del estado fenológico ya que el sistema debe funcionar desde inicios de R3 en adelante, pero la decisión podrá ser en R3, R4 o inclusive en R5. Para los casos en que el sistema arroje incertidumbre es decir presente como resultado entre 23 y 33 puntos, el productor y asesor, podrán esperar la ocurrencia de lluvia para que el sistema finalmente con más puntos defina la toma de decisión o confiar en pronósticos que anticipen esas lluvias y proceder a la aplicación inmediatamente antes de ese pronóstico especialmente en los casos que se quiera tomar más riesgos o por dificultades derivadas de la infraestructura o logística siempre que la suma de puntos este más cercano a 33, que exista el pronóstico en cuestión y que las condiciones de crecimiento del cultivo no sea bajo stress térmico o hídrico.

En este trabajo, es de destacar que tanto la elección de los 10 factores como su ponderación relativa fueron basadas en criterios experimentales y su asignación fue

arbitraria pero basada en sistemas semejantes o por antecedentes bibliográficos que destacaban la importancia de los mismos en la epidemiología de las EFC.

La elección de los 10 factores que conforman el sistema de este trabajo, estuvo también relacionada con las características propias de nuestro país. De esta forma, la fertilización y/o disponibilidad del potasio, la reacción del cultivar al oídio, que son factores importantes en otros países como Brasil (Hoffman, 2002), para la Argentina no lo son, y por ello no fueron seleccionados como factores dentro del sistema de puntuación desarrollado en este Capítulo. Lo mismo sucede con el factor presencia de fructificaciones (picnidios) (Malvick, 1998), que por su dificultad o falta de costumbre en la observación a campo por parte de los usuarios, tampoco fue seleccionado.

En el sistema de puntuación desarrollado en la Tesis, se incluyeron factores ya abordados en la mayoría de los sistemas publicados (antecesor, grupo de madurez, presencia de síntomas, destino de la producción, potencial de rendimiento, etc.). Las diferencias más importantes que reúne el elaborado en este Capítulo, con todos ellos, es la consideración de la cantidad de lluvias, el momento partir del cual deben ser registradas y la adaptación a las condiciones argentinas. Ningún sistema de puntuación en soja de los mencionados anteriormente considera al periodo R3 en adelante como la etapa de desarrollo del cultivo más importante donde las lluvias se correlacionan mejor con los fungicidas. Tampoco incluyen información detallada sobre las precipitaciones (cantidad y tipo lluvias de al menos 7 mm o más).

Los factores y su ponderación no son rígidos y pueden sufrir modificaciones posteriores a partir de nuevas investigaciones y cambios en la tecnología, en el sistema agrícola de producción, cambios en las poblaciones de los patógenos involucrados, etc. De la misma forma se podrá, en un futuro, agregar o quitar algún factor que justificadamente mejore el comportamiento del mismo. Por ello y de acuerdo con March et al., (2010), los sistemas de puntuación pueden ser considerados herramientas *dinámicas* donde confluyen los distintos subsistemas que hacen al

desarrollo de las epidemias y que pueden ser *modificados* para mejorar la certeza que se ofrece al productor.

## **Validación**

La validación del sistema es una condición esencial y obligatoria para poder valorar su utilidad, beneficios y detectar sus debilidades. Asimismo, la validación a campo permite lograr una mejora continua y la posibilidad de que el grado de adopción entre productores y asesores pueda ser la máxima posible.

El diseño estadístico y la cantidad de ensayos (19; cada uno de ellos contó con un Diseño en Bloques Completamente Aleatorizados (DCBA) con 4 repeticiones) se consideró suficiente para cumplimentar con el objetivo propuesto. Este número de ensayos coincide con la investigación de Tekrony et al. (1985), que han realizado 19 ensayos para validar un sistema de puntuación en soja en una amplia región ecológica y ambiental, aspecto metodológico muy semejantes al aquí abordado.

Uno de los aspectos a destacar es que se procuró abarcar diferentes regiones y por ello se desarrollaron en tres provincias diferentes. Abarcó además, 5 campañas agrícolas diferentes para fortalecer y enriquecer el proceso de validación.

Este diseño y número de ensayos fueron los suficientemente aptos para generar una matriz de datos y permitir detectar diferencias estadísticas entre los tratamientos propuestos.

En todos los ensayos de validación involucrados, en diferentes localidades y años se registraron predominantemente síntomas de mancha marrón (*S. glycines*) y de tizón morado (*C. kikuchii*). En los casos en que aparecieron síntomas de mancha ojo de rana (*C. sojina*), especialmente en variedades susceptibles, dicho ensayo no fue considerado para la validación.

En todos los ensayos, el sistema por puntos permitió, a través de su recomendación, obtener siempre los mayores rendimientos y margen neto. Un aspecto relevante que se desprende de este estudio de validación es que no siempre se

justificó económicamente la aplicación química. De esta manera, cuando el sistema recomendó no aplicar, los rendimientos que fueron obtenidos en los tratamientos de R3 y R5 no se diferenciaron significativamente ( $p < 0,05$ ) de los del testigo, indicando que no se justificaba aplicar en esos ensayos (Tabla 2, Figura 1).

A modo de ejemplo en Tucumán (2012) y Pergamino (SM) la suma de puntos arrojado por el sistema quedó en 22 y la decisión fue no aplicar, pero en América (LD) la suma fue de 28 que corresponde al intervalo de incertidumbre (rango 23-33). Es esta última situación se decidió igualmente no aplicar ya que no se presentaron pronósticos de lluvias que hicieran cambiar el escenario sanitario de las EFC.

En otros ensayos donde el sistema arrojó 30 o más puntos pero inferior a 33, se decidió aplicar al momento de la valoración por la existencia de pronósticos de lluvias que en conjunto con el estado del cultivo, permitieron la decisión técnica.

De manera general, el sistema permitió ubicar correctamente la aplicación de fungicidas dentro del periodo R3-R5, algunos ensayos mostraron mayores rendimientos en R3 o R4 o R5 dependiendo del resultado de puntos arrojado por el sistema (Tabla 2 y Figuras 3 a 8). La utilidad del sistema fue valorada en localidades tan distantes y diferentes como Villegas, América, Carlos Casares, Daireaux, Lincoln, Paraná, Pergamino o Tucumán (Figuras 1 a 8). Si bien existieron diferencias entre localidades, el sistema igualmente permitió conducir la aplicación química eficientemente de acuerdo a la valoración particular de cada sitio donde el ensayo estaba ubicado. Incluso para una misma localidad como Pergamino, y el mismo año agrícola (2009-2010), el sistema recomendó en un sitio de ensayo (Pergamino SM) aplicar en R3 y en otro (Pergamino SF) en R5, mostrando una sensibilidad para detectar diferencias en los factores de puntuación (Tabla 2). Lo mismo sucedió en la localidad de América donde en la campaña 2010/2011, en el sitio de ensayo América MM, el análisis de las variables del sistema sugirió aplicar en R4 pero en otro sitio de la misma localidad de América (América LG) la aplicación sugerida fue en R3. (Tabla 2). Probablemente las lluvias convectivas que se concentran en algunos lotes y en

otros no a pesar de la cercanía geográfica y que pueden ser cuantificadas in situ con un pluviómetro, explican las diferencias en las decisiones dentro de la misma localidad.

En relación al margen neto (Tabla 2), las variaciones en el mismo siguió la misma tendencia que las respuestas al rendimiento. Cuando el sistema recomendó no aplicar, las aplicaciones fijas por fenología obtuvieron márgenes negativos demostrando, en estos casos, que el uso de fungicida más que un beneficio hubiera sido un perjuicio. Contrariamente cuando el sistema recomendó aplicar independientemente que sea R3, R4 o R5, los márgenes netos siempre fueron positivos y en general siempre los mayores posibles.

## CONCLUSIONES

Se ha podido elaborar un sistema de puntuación que permita orientar la aplicación de fungicidas para las EFC en el cultivo de soja

La validación de dicho sistema en diferentes años y regiones mostró que las recomendaciones propuestas por el sistema de puntos siempre arrojaron los mayores rendimientos y márgenes netos independientemente de la localidad y año considerado.

**Agradecimientos:** a los colegas Norma Formento (Inta Paraná), Daniel Ploper y su equipo: Victoria González y Vicente De Lisi (Obispo Colombres) Santiago Barberis, Diego Álvarez, Alex Ehrenhaus, Luisa Capelle, Gustavo Duarte, Cristian Brambilla, Martín Sanín, Diego Ortiz, Federico Esteban José, José Carlos Zanoni, por la ayuda invaluable en los ensayos de validación.

## **BIBLIOGRAFÍA. Capítulo II**

**APSnet**, 2013. Epidemiología de las Enfermedades de las Plantas Estrategias para el Manejo de las Enfermedades de las Plantas. The American Phytopathological Society. <http://www.apsnet.org/edcenter/advanced/topics/Epidemiologia/Pages/Estrategias.aspx> Capturado, Octubre 2013.

**Audsley E., A. Milne & N. Paveley**. 2006. A foliar disease model for use in wheat disease management decision support systems. *Annals of Applied Biology* 147: 161-172.

**Backman, P.A., R. Rodríguez Cabaña, J.M. Hammond & D.L. Turlow**. 1979. Cultivar environment and fungicide effects on foliar disease losses in soybean. *Phytopathology* 69: 562-564.

**Backman, P.A., M.A. Crawford & J.M. Hammond**. 1984. Comparison of Meteorological and Standardized Timings of Fungicide Applications for Soybean Disease Control. *Plant Disease*. 68(1): 44-46.

**Berger, R.** 1977. Application of epidemiological principles to achieve plant disease control. *Ann. Rev. Phytopathol.* 15:165-183.

**Brustolin, R., R. De Rossi & M. Carmona**. 2012. Sistema de pontuação para estimar o risco de ocorrência de *Sclerotinia sclerotiorum*. En: Doenças da soja. Reis E.M. & R.T. Casa, Eds. Universidade de Passo Fundo, RS Brasil. pp. 349-351.

**Brown-Rytlewski, D., P. Vincelli, T. Allen, G.C. Bergstrom, C. Bradley, J. Damicone, E. De Wolf, A. Dorrance, C. Richard Edwards, R. Elmore, P. Esker, R. French, A. Grybauskas, M. Harris, D. Hershman, C. Hollingsworth, B. Hunger, T. Isakeit, D. Jardine, B. Jensen, P. Jepson, D. Johnson, S.B. Johnson, C. Lee, J. Lundgren, I. MacRae, M. McMullen, D. Mueller, L.E. Osborne, P.A. Paul, G.B. Padgett, P. Pedersen, S. Rideout, T. Royer, G. Shaner, E.L. Stromberg, G. Walker, S. Wegulo, K. Wise, S. Sardanelli, N.P. Goldberg, N.C. Leppla, E. Larson, T. Chase, C. DiFonzo**. 2009. Letter from Universities regarding the strobilurin pyraclostrobin (Headline), supplemental label. Disponible en:

<http://www.epa.gov/pesticides/regulating/headline-letter.pdf>. Último acceso: Noviembre 2012.

**Burke, J.J. & B. Dunne.** 2008. Field testing of six decision support systems for scheduling fungicide applications to control *Mycosphaerella graminicola* on winter wheat crops in Ireland. *Journal of Agricultural Science* 146: 415-428.

**Carmona, M.** 2006. Importancia de las enfermedades de fin de ciclo: su relación con la ecofisiología y el uso estratégico de fungicidas en el cultivo de soja. *Proceedings of Mercosoja 2006, 3er Congreso de Soja del Mercosur, Workshop de enfermedades de hoja, tallo y raíz.* ACCSOJA, Rosário. pp. 321-324.

**Carmona, M. & E.M. Reis.** 2001. Sistema de puntuación para la evaluación del potencial de producción del cultivo de trigo. Su utilidad para la aplicación racional y económica de fungicidas. Ed. Rago, Buenos Aires. 24 pp.

**Carmona, M. & E.M. Reis.** 2009. Critério: sistema de pontuação para aplicação de fungicidas para as doenças de final de ciclo na cultura da soja. En: *Critérios indicadores do momento para aplicação de fungicidas visando ao controle de doenças em soja e trigo.* Reis E.M. (organizador). Ed. Aldeia Norte Editora. Passo Fundo. pp. 54-65.

**Carmona M.,** 2009. Desarrollo evolución y futuro de los fungicidas. Impactos en la agricultura. In: Ricci D. (Ed.). *La Argentina 2050 La revolución tecnológica del agro. Hacia el desarrollo integral de nuestra sociedad,* pp. 382-398. Buenos Aires, Argentina.

**Carmona, M., M. Gally, P. Grijalba, V. Sugia, & E. Jaeggi.** 2004. Frequency and chemical control of causal pathogens of soybean late season diseases in the Pampeana Region. *Proceedings of 7th World Soybean Research Conference, 4th International Soybean Processing and Utilization Conference, III Congresso Mundial de Soja.* EMBRAPA, Foz de Iguazú. pp. 159.

**Carmona, M., F. Sautua, S. Perelman & M. Gally.** 2008. Enfermedades de fin de ciclo de soja: Asociación entre fungicidas, rendimiento y lluvias. *Resúmenes Primer Congreso Argentino de Fitopatología.* AAF, Córdoba. pp. 225.

- Carmona, M., F. Sautua, S. Perelman, E. Reis & M. Gally.** 2009. Utilidad de las precipitaciones para predecir la respuesta al uso de fungicidas en el control de las EFC en soja. Anais Mercosoja 2009, V Congreso de Soja del Mercosur. EMBRAPA, Goiana. CD Room.
- Carmona, M., R. Moschini, G. Cazenave, F. Sautua.** 2010. Relación entre la precipitación registrada en estados reproductivos de la soja y la severidad de *Septoria glycines* y *Cercospora kikuchii*. Tropical Plant Pathology 35(2): 20-27.
- Dennis, M.** 2006. Soybean Foliar Fungicides Yield Benefit or an Extra Expense? Economic Return of Strobilurin Fungicide on Soybean. Results of 2006 NY On-Farm Research. Cornell University publications. Available at. [http://nysipm.cornell.edu/publications/soy\\_plant\\_health/files/SoyPlantHealth.pdf](http://nysipm.cornell.edu/publications/soy_plant_health/files/SoyPlantHealth.pdf)
- Fehr, W.R. & C.E. Caviness.** 1977. Stages of soybean development. Iowa State University Special Report 80: 11 pp.
- Franca Neto, J.B. & D.H. West.** 1989. Effects of *Colletotrichum truncatum* and *Cercospora kikuchii* on viability and quality of soybean Seed. Journal of Seed Technology 13:136-149 .
- Gally, M., M. Carmona, P. Grijalba, D. Barreto & V. Sugía.** 2004. Control of soybean seed-borne pathogens by foliar fungicide applications in Argentina. Proceedings of 27th ISTA Congress Seed Symposium. ISTA, Budapest. pp.110.
- Hagelskjær L. & L. Nistrup Jørgensen.** 2007. A web-based decision support system for integrated management of cereal pests. Bulletin OEPP/EPPO 33: 467–471.
- Hansen J.G., B.J. Secher, L.N. Jørgensen and B. Welling.** 1994. Threshold for control of *Septoria* spp. in winter wheat based on precipitation and growth stage. Plant Pathology 43: 183-189.
- Hoffmann, L.L.** 2002. Controle de oídio e doenças de final de ciclo em soja. M. Sc. Tesis. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil. 68 pp.

- Hoffmann, L.L., E.M. Reis, C.A. Forcelini, E. Panisson, C.S. Mendes & R.T. Casa.** 2004. Efeitos da rotação de cultura, de cultivares e da aplicação de fungicida sobre o rendimento de grãos e doenças foliares em soja. *Fitopatologia Brasileira* 29: 245-251.
- Ivancovich, A.** 2003. Enfermedades de la soja. Curso de actualización, FAVE, Universidad nacional del Litoral. 84 pp.
- Jensen A.L., P.S. Boll, I. Thyssen & B.K. Pathak.** 1998. PI@ntelInfo: A World Wide Web based decision support system for crop production management in Denmark. Proceeding of the first Asian conference for Information Technology in Agriculture. AFITA, Wakayama-City. pp. 125-129.
- Jörg, E., P. Racca & B. Kleinhenz.** 2001. The CERCBET - Models: Decision Support Systems for Cercospora Leaf Spot Control in Sugar Beet in Germany. Proceedings of Third European Conference of the European Federation for Information Technology in Agriculture Food and the Environment. EFITA, Copenhagen. pp. 13-18.
- Jørgensen L.N., E. Noe, A.M. Langvad, J.E. Jensen, J.E. Ørum & P. Rydahl.** 2007. Decision support systems: barriers and farmers need for support. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin* 37: 374–377.
- Kiker, G. & R. Ranjan.** 2006. Decision Support System for Soybean Rust (*Phakopsora pachyrhizi*) Management using QnD. AAEA Annual Meeting in Long Beach California 2006, July 23-26, 2006, 25pp.
- Klingelfuss, L.H. & J.T. Yorinori.** 2001. Infecção latente de *Colletotrichum truncatum* e *Cercospora kikuchii* em soja. *Fitopatologia Brasileira* 26: 158-164.
- Kulik M.M.** 1984. Symptomless infection, persistence, and production of pycnidia in host and non-host plants by *Phomopsis batatae*, *Phomopsis phaseoli*, and *Phomopsis sojae*, and the taxonomic implications. *Mycologia* 76: 274– 291.
- Larran, S., C., H. Rollán, H. Bruno Ángeles, H.E. Alippi & M.I. Urrutia.** 2002. Endophytic fungi in healthy soybean leaves *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.* Vol. 17 (1), 173-178.

- Lamey, H.A. & C.A. Bradley.** 2003. Sclerotinia Stem Rot of Canola: Biology and Management. North Dakota State University Extension Service. 7 pp.
- McGee, D.C.** 1983. Epidemiology of soybean seed decay by *Phomopsis* and *Diaporthe* spp., Seed Sci. Technol. 11:719-729.
- McGee, D.C., C.L. Brandt & J.S. Burris.** 1980. Seed mycoflora of soybeans relative to fungal interactions. Seedling emergence and carry over of pathogens to subsequent crops. Phytopathology 70:615-61.
- Magarey, R. D., T. B. Sutton, & C. L. Thayer.** 2005. A simple generic infection model for foliar fungal plant pathogens. Phytopathology 95:92-100.
- Malvick, D.K.** 1998. Illinois soybean disease management program report on plant disease. RPD 507. Department of crop sciences University of Illinois. Available at [http://web.aces.uiuc.edu/vista/pdf\\_pubs/507.pdf](http://web.aces.uiuc.edu/vista/pdf_pubs/507.pdf). (verified Sept. 2012).
- March, G., C. Oddino & A. Marinelli.** 2010. Manejo de enfermedades de los cultivos según parámetros epidemiológicos. INTA-UNRC, Córdoba. 193 pp.
- Milne, A.E., E. Audsley, D.J. Parsons & N. Paveley.** 2001. A decision support system to advise farmers on appropriate fungicide application to protect winter wheat from foliar diseases. Proceedings of EFITA Congress 2001. EFITA, Montpellier. pp 23.
- Murali, N.S. & B.J.M. Secher.** 1996. Integration of cultivar selection in a decision-support system for plant protection. Bulletin OEPP/EPPO Bulletin 26: 645–649.
- Paul, P.A., L.V. Madden, C.A. Bradley, A.E. Robertson, G.P. Munkvold, G. Shaner, K.A. Wise, D.K. Malvick, T.W. Allen, A. Grybauskas, P. Vincelli & P. Esker.** 2011. Meta-Analysis of Yield Response of Hybrid Field Corn to Foliar Fungicides in the U.S Corn Belt. Phytopathology 101: 1122-1132.
- Reis, E. M; A.C. Reis & M. Carmona.** 2010. Manual de fungicidas: Controle químico de doenças de plantas. Ed: Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo , Brasil, 226 pp.

**Reis, E.M.** 2013. Criterio Estadio fenológico da planta Capítulo 9 pp. 95-107 en: Indicadores do momento para a aplicacao de fungicidas visando ao controle de doencas nas culturas da soja e do trigo. Ed. Betthier, Passo Fundo, Brazil. Organizador: E.M. Reis 247 pp.

**Reis, E.M., R. Brustolin, S. Zoldan, F. Nicolini & Y. Tsukahara.** 2013. Critérios baseados em sistemas de aviso: calor acumulado por *Phakopsora pachyrhizi*. Capítulo 13 pp. 159-170 en: Indicadores do momento para a aplicacao de fungicidas visando ao controle de doencas nas culturas da soja e do trigo. Ed. Betthier, Passo Fundo, Brazil. Organizador: E.M. Reis 247 pp.

**Roy, K.W.** 1982. Seedling diseases caused in soybean by species of *Colletotrichum* and *Glomerella*. *Phytopathology* 72:1093-1096

**Scandiani, M. M. & A. G. Luque.** 2009. Identificación de Patógenos en Semilla de Soja. *Análisis de Semillas Supl. Especial N°2*: 51-52.

**Shurtleff, M.C., B.J. Jacobsen & J.B. Sinclair.** 1980. Pod and stem blight of soybean. *Reports on Plant Disease* 509: 1-6.

**Sillón, M.** 2012. Enfermedades del cultivo de soja. En: *El cultivo de soja en Argentina*. Baigorri H. & L. Salado Navarro, Eds. Agroeditorial, Buenos Aires, pp: 303-316.

**Sinclair J.B.** 1991. Latent infection of soybean plants and seeds by fungi. *Plant Disease* 75, 220-22.

**Smirnoff, C., M. Gally, K. Ascitutto, S. Gatica, A. M. Romero & M. Carmona.** 2013. Effect of rotation and monoculture system on soybean foliar diseases Abstract 400 World Soybean Research Conference 2013 - Durban South Africa, February 17-22, 2013.

**Soto-Arias, J.P. & G.P. Munkvold.** 2011. Impacts of foliar fungicides on infection of soybean by *Phomopsis* spp. in Iowa, USA *Crop Protection* 30: 577–580.

**Stuckey, R.E., W.F. Moore & J.A. Wraether.** 1984. Predictive systems for scheduling foliar fungicides on soybeans. *Plant Disease* 68(8): 743-744.

- Swoboda, C. & P. Pedersen.** 2009. Effect of Fungicide on Soybean Growth and Yield. *Agronomy Journal* 101: 352-356.
- Te Beest, D.E., M.W. Shaw, N.D. Paveley & F. Van Den Bosch.** 2009. Evaluation of a predictive model for *Mycosphaerella graminicola* for economic and environmental benefits. *Plant Pathology* 58: 1001–1009.
- Tekrony, D.M., D.B. Egli, R.E. Stuckey & J. Balles.** 1983 Relationship between weather and soybean seed infection by *Phomopsis* sp. *Phytopathology* 73: 914-918.
- Tekrony, D.M., R. Stuckey, D.B. Egli & L. Tomes.** 1985. Effectiveness of a point system for scheduling foliar fungicides in soybean seed fields. *Plant Disease* 69: 962-965.
- Waard, M.A., S.G. Georgopoulos, D.W. Hollomon, H. Ishii, P. Leroux, N.N. Ragsdale, & F.J. Schwinn.** 1993. Chemical Control of Plant Diseases: Problems and Prospects *Annual Review of Phytopathology*, 31: 403-421.
- Ward, B.M. , C. Robertson, R. Schneider, E. Silva & S. Albu.** 2013. Effects of minor elements on *Cercospora* leaf blight of soybean and production of cercosporin. APS MSA Joint Meeting, August 10-14 Austin, Texas, 246-P.  
[http://www.apsnet.org/meetings/Documents/2013\\_Meeting\\_Abstracts/aps2013abP246.htm](http://www.apsnet.org/meetings/Documents/2013_Meeting_Abstracts/aps2013abP246.htm)
- Walters H.J.** 1980. Soybean Leaf Blight Caused by *Cercospora kikuchii*. *Plant Disease* 64:961-962.
- Weisz R., C. Cowger, G. Ambrose & A. Gardner.** 2011. Multiple mid-Atlantic field experiments show no economic benefit to fungicide application when fungal disease is absent in winter wheat. *Phytopathology* 101: 323–333.
- Wilcox, J.R.** 1973. Effects of *Cercospora kikuchii* on soybeans. *Phytopathology* 63:796-797.
- Wise, K. & D. Mueller.** 2011. Are Fungicides No Longer Just For Fungi? An Analysis of Foliar Fungicide Use in Corn. APSnet Features. doi:10.1094/APSnetFeature-2011-0531.

**Wrather, J.A. & L. Sweets.** 2000. Point system to determine the advisability of spraying soybeans with a foliar fungicide. Soybean disease Management. Agricultural UM Guide. University of Missouri-Columbia. Available at <http://muextension.missouri.edu/xplor>. (verified Sept. 2012).

## CAPITULO III

### **Mancha ojo de Rana (MOR): cuantificación de daños y pérdidas. Determinación del umbral de control**

#### **INTRODUCCIÓN**

La mancha ojo de rana (MOR) es una enfermedad que tiene como agente etiológico al hongo *Cercospora sojina* Hara. La enfermedad incrementó su importancia en los últimos años, favorecida por la expansión de la superficie sembrada con soja, el uso de cultivares susceptibles, labranzas conservacionistas, el monocultivo y condiciones ambientales favorables para su desarrollo.

En Argentina, la enfermedad se presentó con características de epidemia severa durante la campaña 98/99 en el NOA (Ploper et al., 2000), principalmente en Tucumán y Salta. Durante los años posteriores, su ocurrencia fue esporádica pero aumentó su prevalencia hacia nuevas provincias como Córdoba, Santa Fe, Buenos Aires y Entre Ríos. En el año 2005 fue determinada en sojas voluntarias en Entre Ríos (Formento & Vicentin, 2005). Entre 2005 y 2008, fue detectada en la región pampeana con una prevalencia entre 5-25 %, baja incidencia y severidad. Durante la campaña 2008/09, se diseminó rápidamente en la mayor parte de la zona sojera de la Región Pampeana, con ataques intensos principalmente en las provincias de Córdoba y Santa Fe (Carmona & Scandiani, 2009). La enfermedad se observó en casi todas las variedades de los grupos de madurez III, IV y V. La incidencia de plantas afectadas en todos los campos de Córdoba y Santa Fe fue del 100 % y en Bs As del 0 al 100 %. Los valores más altos de severidad fueron encontrados en lotes productivos de Córdoba con una severidad igual o mayor al 30 % (30-60 %). El número de lesiones por folíolo fue registrado en los folíolos centrales de 15 plantas tomadas al azar, en los lotes de

las localidades de Monte Cristo, Alta Gracia, Venado Tuerto y María Teresa, obteniéndose entre 20-55 manchas por folíolo (Carmona et al., 2009a).

Muestreados 150 lotes de soja de los departamentos Unión y Marcos Juárez (Córdoba), se determinó una incidencia del 100 % y una severidad que osciló desde trazas al 80 % del área foliar afectada (Distéfano & Gadbán, 2009a). En un ambiente de baja disponibilidad de inóculo (Guauguay, Entre Ríos), durante el ciclo 2008/09, se determinaron variedades resistentes en los GM V cortos y largos y en el GM VII. (Formento et al., 2009). Todos los genotipos del GM VI, presentaron síntomas de MOR (Formento et al., 2009).

En el ciclo 2008/09, en la región centro norte de Santa Fe, se determinó una prevalencia de 70,8 % sobre 50 lotes relevados, con una incidencia del 100 % en plantas y del 92,5 % en folíolos; la severidad osciló entre 1 y 35 lesiones por folíolo (Maumary et al., 2009).

En la campaña 2009/10, el aumento en prevalencia, incidencia y severidad fue notable y significativo en la mayoría de las regiones sojeras de Córdoba, Santa Fe, Entre Ríos y Buenos Aires, encontrándose a la enfermedad también en lotes de San Luis. En las localidades de Piamonte, Las Petacas, María Susana, El Trébol (Santa Fe), Monte Buey y Bengolea (Córdoba), la incidencia foliar fue del 100 % y la severidad osciló entre 3 y 331 lesiones por folíolo (Carmona, Grosso & Ponzio, datos no publicados).

Los daños promedio de rendimiento oscilan entre un 10 y 50 % (Laviolette et al., 1970; Bernaux, 1979; Ma, 1994; Mian et al., 1998), sin embargo, valores entre 13 y 31 % fueron registrados en 1991, del 5 al 6 %, en 1992 y superiores a 60 % fueron determinados en ambientes tropicales como Nigeria. El peso de las semillas se redujo hasta un 29 % (Dashiell & Akem, 1991; Akem & Dashiell, 1994). Wrather et al., (1997) estimaron pérdidas de 2.000 tn en Bolivia, 504.800 tn en China y 20 tn en Indonesia por la MOR en 1994. Los daños promedio informados alcanzaron el 15 – 20 % y según Sinclair & Backman (1989), daños de 40 y 60 % fueron documentados en Nigeria y

Brasil respectivamente, donde la enfermedad es muy común. En Zambia, se informó hasta un 33 % de daños promedio en cultivares susceptibles (Mwase & Kapooria, 2000). En Estados Unidos, la MOR ocasiona disminuciones en el rendimiento que oscilan entre 12 y 15 % (Singh & Sinclair, 1985) y en Ohio, la enfermedad incrementó su frecuencia e intensidad desde 2004 causando por primera vez daños significativos de hasta el 35 % durante 2006 (Cruz & Dorrance, 2009).

La MOR es principalmente una enfermedad que afecta a las hojas, pudiéndose presentar además en tallos, vainas y semillas. La infección puede ocurrir en cualquier estado fenológico del cultivo, sin embargo los síntomas se observan normalmente después de la floración y se hacen muy evidentes desde R3 (inicio de formación de vainas) de la escala de Fehr & Caviness (1977).

Los tejidos jóvenes en expansión son los más susceptibles; en Argentina durante el ciclo agrícola 2009-2010 fue muy frecuente encontrar lotes de variedades susceptibles en estado vegetativo con síntomas de la enfermedad, al igual que en plantas voluntarias (Figura 1). Las lesiones inicialmente aparecen, en el haz de las hojas, como pequeñas manchas circulares o angulares de color castaño rojizo o grisáceas oscuras. Cuando avanza la enfermedad, las partes centrales se tornan más claras y grises, rodeándose de un delgado margen marrón rojizo y a diferencia de otras enfermedades foliares, las manchas ojo de rana carecen de halo clorótico (Fotografía 1).



**Fotografía 1.** Manchas foliares sin halo clorótico causadas por *Cercospora sojina* (Autor. Silvana Di Núbila).

Las lesiones tienen un diámetro de 1 a 5 mm, sin embargo, con condiciones ideales para la infección y altos niveles de inóculo, las lesiones adyacentes pueden coalescer o unirse para formar áreas necróticas grandes e irregulares de hasta 10 mm de diámetro. Eventualmente, las lesiones pueden cubrir más del 30 % de la superficie foliar, dando la apariencia de tizón y causando defoliación prematura (Phillips, 1999; Mwase & Kapooria, 2000; Mian et al., 2008; Distéfano & Gadbán, 2009b, Carmona & Scandiani, 2009). Bajo condiciones de humedad (> a 90 %), las lesiones en cualquier parte de la planta, desarrollan puntos oscuros (subículos) con producción de conidióforos. La presencia de estas fructificaciones oscurecen el centro pajizo gris de la lesión inicial (Fotografía 2).



**Fotografía 2.** Fructificaciones de *Cercospora sojina* sobre la lesión (Autor. Silvana Di Núbila).

Es muy común observar las lesiones perforadas a modo de agujeros, lo que genera una gran pérdida de área foliar (Fotografías 3 y 4) (Carmona & Scandiani, 2009).



**Fotografías 3 y 4.** Lesiones perforadas causadas por la MOR (Autor. Silvana Di Núbila).

En tallos, las manchas son alargadas, dos a tres veces más largas que anchas y pueden cubrir hasta la mitad de la superficie de los tallos (Mian et al., 2008). Son castaño oscuras en los bordes y más claras en el centro (Carmona & Scandiani, 2009; Distéfano & Gadbán, 2009a).

Las vainas presentan lesiones circulares a alargadas, levemente deprimidas, de color marrón rojizo, posteriormente se tornan marrones a gris claro, con márgenes marrón oscuro. El hongo puede atravesar las paredes de la vaina e infectar las semillas en maduración (Phillips, 1999) (Fotografías 5 y 6). En general el hongo penetra en la semilla por el poro o rajaduras de la cubierta seminal y también a través del hilo.



**Fotografías 5 y 6.** Lesión de la MOR en vaina de soja e infección de semilla (Autor. Silvana Di Núbila).

Las semillas pueden ser asintomáticas o mostrar síntomas variados; se observaron desde semillas sin síntomas hasta semillas oscuras, arrugadas y resquebrajadas con desarrollos de áreas de color gris claro, a gris oscuro o marrón, de tamaño y forma variable, desde motas hasta la cobertura total de la semilla.

Las fuentes de inóculo más importantes son las semillas y el rastrojo infestado (Figura 1). El patógeno se introduce en una región, país o lote vía semilla y el monocultivo aumenta el inóculo en el campo (Figura 1). La infección comprende la germinación de los conidios, su penetración directa en el hospedante y el establecimiento de la relación de parasitismo entre hospedante y patógeno. Los conidios pueden germinar sobre la superficie foliar una hora después de la deposición por el viento, en presencia de agua y con temperaturas entre 25 y 30°C produciendo uno o unos pocos tubos germinativos a partir de las células terminales y a veces, a partir de células laterales (Phillips, 1999). Según Yorinori (1989), temperaturas por debajo de 20°C, restringen la germinación y la esporulación. Con condiciones ambientales favorables, numerosas ciclos de infección pueden ocurrir a lo largo de todo el ciclo del cultivo (Figura 1). De esta manera, las plantas u hojas enfermas con MOR se constituyen en importantes fuentes de inóculo para nuevas hojas o plantas, dentro del mismo ciclo de cultivo. El número de ciclos patogénicos final, dependerá del

tiempo requerido para completar cada uno de ellos. Estas características la convierten en una enfermedad policíclica diferenciándola de las EFC.

El desarrollo de la enfermedad se ve favorecido por temperaturas entre 25 y 30 a 35°C, lluvias abundantes, rocío y humedad relativa ambiente superior a 90 % (Yorinori, 1989; Mian et al., 2008).

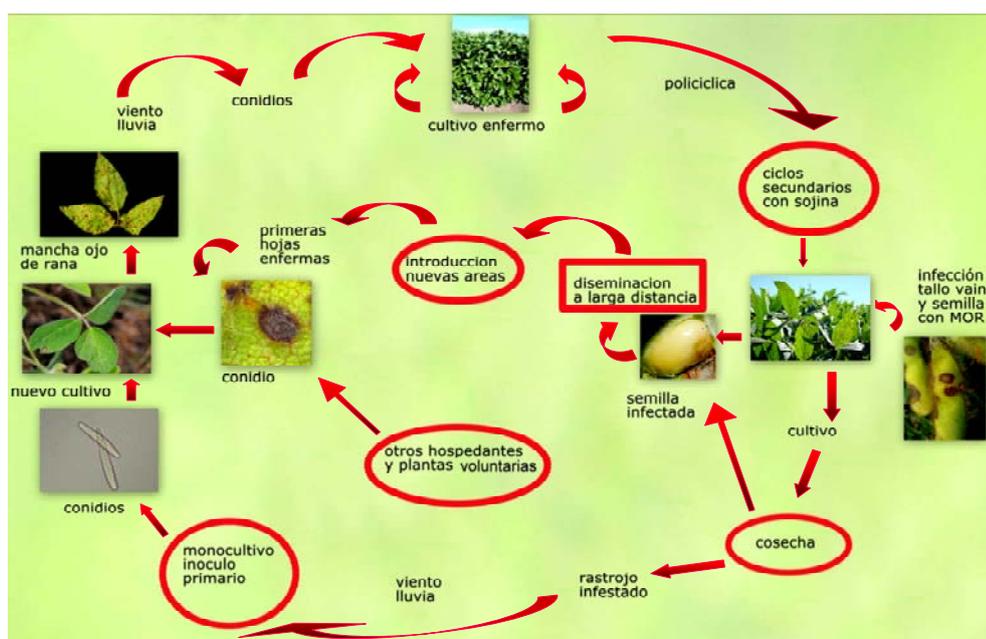


Figura 1. Ciclo de la mancha ojo de rana causada por *Cercospora sojina*.

### Manejo integrado de la MOR

El uso de cultivares resistentes es la principal herramienta para el control de esta enfermedad. Es un patógeno que presenta razas, habiéndose descrito 12 en Estados Unidos y 22 en Brasil (Carmona et al., 2010a). Recientemente en Argentina, se han detectado 2 razas (Scandiani et al., 2012). Otra práctica que debe tenerse en cuenta es el uso de semillas de alta calidad y libres del patógeno. En lo que respecta a rotación de cultivos, es una práctica aconsejable ya que no sólo reduce de manera significativa los daños, sino que disminuye también la incidencia de otras enfermedades. Se destaca la importancia de la rotación de cultivos con hospedantes no susceptibles y la aplicación foliar de fungicidas en variedades susceptibles, así como la posibilidad de cosechar por separado los lotes con síntomas de mancha en

ojo de rana y de identificar la semilla de los lotes enfermos para proceder a su análisis sanitario.

### **Control químico de la MOR**

En las campañas agrícolas (2008/09 y 2009/10), los productores y asesores de nuestro país comprobaron los beneficios del uso de fungicidas en el cultivo de soja, porque existió la posibilidad real de visualizar y estimar los efectos del control químico, ya que la MOR aparece temprano en los cultivos y presenta menor latencia e incubación, comparadas con las principales EFC. Se pudo observar entonces visualmente, la eficiencia de control, sin esperar el fin de ciclo.

Cabe destacar que en el ciclo agrícola 2009/10, se observó que las aplicaciones de fungicidas tempranas o tardías, sin fundamentos epidemiológicos no fueron suficientes para detener el ataque de MOR y el resto de las EFC, por más fungitóxicas que sean estas moléculas (Carmona et al., 2010). Por lo tanto, es más importante implementar un programa de manejo químico sustentado en el monitoreo, la variedad de soja y la decisión epidemiológica del uso de fungicidas, que aplicar un fungicida sin estos principios elementales. De esta forma, los fungicidas no constituyen la clave fundamental del manejo químico, sino el saber accionar, es decir, el cuándo y el cómo son la base fundamental de la decisión para hacer una aplicación exitosa. Asimismo es necesario evitar cualquier posibilidad de generación de resistencia de estos patógenos a las moléculas ampliamente usadas como las estrobilurinas, implementando un uso racional de los fungicidas.

En los próximos años, se deberá contar con: a) una mayor superficie sembrada con variedades resistentes; b) un programa químico sustentable para acompañar las variedades moderadamente resistentes y susceptibles basada en el Umbral de daño y c) personal técnico profesional informado, movilizad y alerta, para ejecutar las decisiones “sustentables” que reduzcan al mínimo el impacto de la enfermedad sobre los rendimientos. La decisión de aplicar y del tipo de producto a utilizar, depende de

los niveles de incidencia y severidad de la enfermedad, el estado fenológico del cultivo, el comportamiento sanitario de la variedad, estado general del lote y las condiciones ambientales, como así también de la asociación con otras posibles enfermedades presentes como las del complejo de EFC.

El control químico es la alternativa disponible hasta definir claramente después de dos ciclos epifíticos en Argentina, la existencia y difusión de variedades resistentes, tolerantes o con buen comportamiento a la MOR. Además, al ser una enfermedad policíclica (numerosas generaciones de esporas en el cultivo) y con registros de epifitía incluso en estados vegetativos, es importante contar con las bases de un programa manejo sustentable de la enfermedad según el criterio de umbral de daño.

### **La reducción de la tasa epidemiológica como estrategia para el manejo de epidemias policíclicas. Umbrales de daño económico**

La definición del momento de aplicación de fungicidas para MOR es una tarea compleja y debería guiarse por varios criterios. La complejidad es diversa y exige un profundo análisis. La toma de decisión necesariamente obliga a considerar diversos aspectos integradamente donde la epidemiología es el resultado de la interacción del hospedante, el fungicida y las variables económicas (Carmona et al., 2010a). Es necesario analizar los atributos del patógeno (policíclico, razas, presión de inóculo), del hospedante (período crítico de generación de rendimiento, grado de susceptibilidad, rendimiento potencial), del fungicida (dosis, tipo de molécula), del ambiente (rocío, lluvias, temperatura, mojado) y el análisis económico de pérdidas e inversión (umbral de daño económico UDE y de acción UDA).

### **Umbral de daño Económico para la MOR**

En forma práctica, el umbral de daño económico (UDE), es la cantidad máxima de enfermedad tolerable económicamente y a partir de la cual es necesario aplicar un fungicida (Munford & Norton, 1984). No se trata de un valor fijo, por el contrario es

variable en función de los precios, rinde y estado fenológico. Es importante establecer los UDE durante el periodo crítico de generación del rendimiento (R3-R5.5-inicios R6), porque su uso incide en el rendimiento. Por otro lado, y para formular la recomendación práctica al productor, es necesario calcular el Umbral de Acción (UDA), es decir el valor de enfermedad en el cual deberán efectuarse las aplicaciones para evitar que se alcance el UDE. Considerando que para la eficiencia del control químico no se debe permitir que la severidad de la enfermedad exceda el UDE (relación de indiferencia), la aplicación debería ser hecha con anterioridad, debido a que tanto la implementación del control como la acción del fungicida, demandan tiempo. Como el UDA siempre debe ser menor al UDE, en otros patosistemas (Carmona et al., 2008; 2009b, 2010b 2012), se ha propuesto, un UDA de 20 % menos que el UDE.

#### **Objetivos específicos:**

- 1) Cuantificar los daños y pérdidas causados por la MOR.
  
- 2) Desarrollar el umbral de daño para la orientación racional de fungicidas en el control de la MOR.

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Diseño experimental**

Se llevó a cabo un ensayo en la localidad de El Trébol, provincia de Santa Fe, en un cultivo de soja de la variedad NA4990RG. Se aplicaron diversas dosis de fungicidas en distintos momentos con el fin de lograr un gradiente natural de la enfermedad (Casa et al., 2009; Carmona et al., 2008; 2009b, 2010b, 2012). El diseño utilizado fue de Bloques Completos Aleatorizados, con cuatro repeticiones. Las

aplicaciones de fungicidas comenzaron al inicio de los primeros síntomas (1 lesión por folíolo) coincidente con el estado fenológico R1. Se debe destacar que el uso de dosis y momento de aplicación de la mezcla de fungicidas sólo tuvo como objetivo generar un gradiente de la enfermedad y no la de valorar la eficiencia de control químico.

Se evaluaron 10 tratamientos con cuatro repeticiones, resultantes de la combinación de las dosis de la mezcla de fungicida trifloxistrobina + cyproconazole 0,75 cc, 150 cc y 300 cc por hectárea mas aceite mineral (MSO) y número de aplicaciones 0, 1, 2 y 3, según la siguiente la estructura de tratamientos (Figuras 2 y 3):

**T1:** Testigo sin tratar.

**T2:** 1era aplicación cuando se observan los primeros síntomas, 2da aplicación a los 20 días y 3 era aplicación a los 20 días de la 2da (Dosis usada: mitad de dosis recomendada: trifloxistrobina + cyproconazole 75 cc + aceite 300cc).

**T3:** Una sola aplicación (coincidente con la 2da aplicación a los 20 días del tratamiento 2). (Dosis usada: mitad de dosis recomendada: trifloxistrobina + cyproconazole 75 cc + aceite 300cc).

**T4:** Dos aplicaciones (coincidentes con la 2da aplicación a los 20 días del tratamiento 2 y la 3 era aplicación a los 20 días de la 2da) (Dosis usada: mitad de dosis recomendada: trifloxistrobina + cyproconazole 75 cc + aceite 300cc).

**T5:** 1era aplicación a los primeros síntomas, 2da aplicación a los 20 días y 3 era aplicación a los 20 días de la 2da (Dosis usada: recomendada: trifloxistrobina + cyproconazole 150cc + aceite 300cc recomendada).

**T6:** Una sola aplicación (coincidente con la 2da aplicación a los 20 días del tratamiento 2). (Dosis usada: recomendada: trifloxistrobina + cyproconazole 150cc + aceite 300cc recomendada).

**T7:** Dos aplicaciones (coincidentes con la 2da aplicación a los 20 días del tratamiento 2 y la 3 era aplicación a los 20 días de la 2da) (Dosis usada:

recomendada: trifloxistrobina + cyproconazole 150cc + aceite 300cc recomendada).

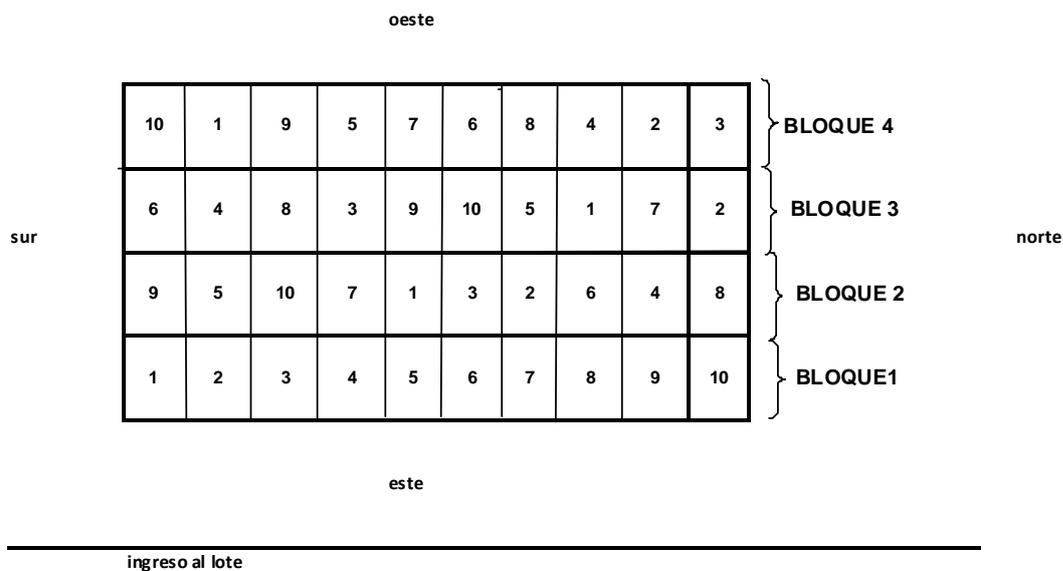
**T8:** 1era aplicación ( a los primeros síntomas , 2da aplicación a los 20 días y 3 era aplicación a los 20 días de la 2da (Dosis usada: doble de la recomendada trifloxistrobina + cyproconazole 300cc + aceite 300cc recomendada).

**T9:** Una sola aplicación coincidente con la 2da aplicación a los 20 días del tratamiento 2. (Dosis usada: doble de la recomendada trifloxistrobina + cyproconazole 300cc + aceite 300cc).

**T10:** Tres aplicaciones (coincidentes con la 1era aplicación, 2da aplicación a los 20 días del tratamiento 2 y la 3 era aplicación a los 20 días de la 2da) (Dosis usada: doble de la recomendada trifloxistrobina + cyproconazole 300cc + aceite 300cc recomendada).

#### **Resumen de los tratamientos:**

N°	Tratamiento	Momento de Aplicación
1	Testigo	
2	Trifloxistrobina + cyproconazole 75 cc/ha + aceite 300cc	M1+M2+M3
3	Trifloxistrobina +cyproconazole 75cc/ha + aceite 300cc	M2
4	Trifloxistrobina + cyproconazole 75cc/ha + aceite 300cc	M2+M3
5	Trifloxistrobina + cyproconazole 150 cc/ha + aceite 300cc	M1+M2+M3
6	Trifloxistrobina + cyproconazole 150 cc/ha + aceite 300cc	M2
7	Trifloxistrobina + cyproconazole 150 cc/ha + aceite 300cc	M2+M3
8	Trifloxistrobina + cyproconazole 300 cc/ha + aceite 300cc	M1+M2+M3
9	Trifloxistrobina + cyproconazole 300 cc/ha + aceite 300cc	M2
10	Trifloxistrobina + cyproconazole 300 cc/ha + aceite 300cc	M2+M3



**Figura 2.** Plano del ensayo mostrando la disposición de los tratamientos y bloques. El Trébol, 2010

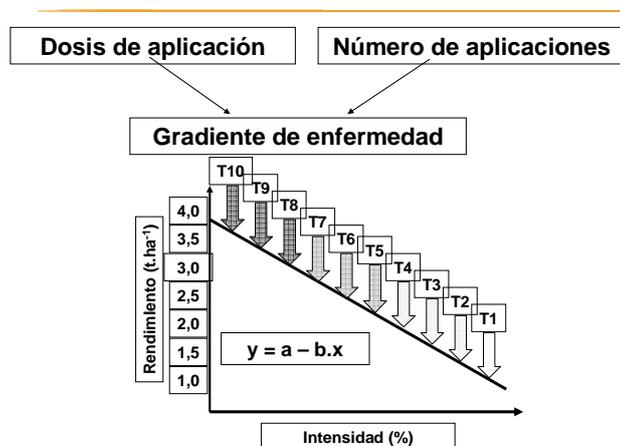
Las fechas de aplicación fueron las siguientes:

M1 (R2) = 5 de Febrero 2010

M2 (R4.5) = 25 de Febrero 2010

M3 (R5.5) = 17 de Marzo 2010

La primera dosis de las tres aplicaciones se realizó a los primeros síntomas (1 lesión por folíolo); las demás a intervalos de 20 días entre aplicaciones.



**Figura 3.** Representación grafica hipotética de la obtención de gradiente de la MOR y del rendimiento de granos de soja para la obtención de los UDE.

**Tamaño de la parcela:** Largo 10 metros por 2, 5 de ancho, sembradas a 0,42 mts. Se cosecharon 4 surcos x 8 mts de largo.

**Evaluaciones de la severidad de la enfermedad:** Las evaluaciones de la enfermedad se realizaron semanalmente en 10 plantas fijas (identificadas y marcadas con precintos) sobre las tres líneas centrales en cada parcela, sobre el tallo principal, sin considerar las ramificaciones. Se dividió la planta en dos mitades (superior e inferior). En total se realizaron 8 evaluaciones, según el siguiente detalle:

1º	R3	12 de Febrero de 2010
2º	R4	19 de Febrero de 2010
3º	R5	01 de Marzo de 2010
4º	R5.5	08 de Marzo de 2010
5º	R6	16 de Marzo de 2010
6º	R6.5	22 de Marzo de 2010
7º	R7	29 de Marzo de 2010
8º	R8	09 de Abril de 2010

Semanalmente se evaluó sobre todos los folíolos centrales de las hojas de las 10 plantas bajo seguimiento, el número de lesiones promedio por folíolo, y tamaño de lesiones, distinguiendo entre mitad superior e inferior.

### **Confirmación y características del agente causal**

Con el objetivo de confirmar el agente etiológico de las lesiones observadas a campo, se realizó, la transferencia directa de conidios de manchas que presentaban esporulación de 25 folíolos extraídos al azar, a medios de cultivo conteniendo agar papa glucosado (APG) e incubación a 25°C y 12 h de luz fluorescente. A partir de los aislamientos obtenidos se sembraron placas de Petri conteniendo APG y se incubaron durante 20 días a 25°C bajo luz fluorescente permanente, midiéndose entonces el diámetro de las colonias. A su vez, los cultivos se observaron al microscopio y se

midieron los conidios, obteniéndose los promedios del tamaño de 50 conidios. Los aislamientos fueron identificados fundamentalmente en base a sus caracteres micromorfológicos.

#### **Cuantificación de la severidad en folíolos:**

Nº promedio de manchas por folíolo = Número manchas totales / Ntf (donde: NTF Número total de folíolos).

#### **Cálculo del área bajo la curva de progreso de la enfermedad**

ABCPE: se calculó mediante la fórmula (Vanderplank, 1963).

$$ABCPE = \sum_{i=1}^n [(X_i + X_{i+1})/2] T_i$$

Donde:

X<sub>i</sub> = Número promedio de manchas por folíolo causado por Mancha Ojo de Rana en tiempo de lectura i.

T<sub>i</sub> = Tiempo en días transcurrido desde la lectura i a la lectura i+1.

n = Número total de lecturas

#### **Cuantificación del tamaño de lesión**

Se midió con regla de precisión el diámetro en mm de las lesiones. Para ello se tomó entre 5 y 6 folíolos centrales de la mitad superior e inferior por separado. Se midió el diámetro al azar de 40-50 manchas, luego se los sumó y dividió por el número de mediciones (40-50).

Se determinaron los porcentajes de control y las funciones de daño para cada estado fenológico reproductivo principal (R3, R4 y R5) fueron obtenidas por regresión lineal simple entre severidad, y rendimiento).

Para calcular el control (%), se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{CONTROL (\%)}: \frac{\text{NL (n}^\circ \text{ de lesiones) testigo} - \text{NL (n}^\circ \text{ de lesiones tratamiento)} \times 100}{\text{NL (n}^\circ \text{ de lesiones) testigo}}$$

### **Determinación del umbral de daño**

A partir de las funciones de daño que predicen el rendimiento en función de la severidad de la enfermedad, se lograron los coeficientes de daño (Cd) que es la cantidad de kilos que se pierden por cada una mancha promedio por foliolo central.

En base a las funciones de daño, se determinaron los umbrales de daño económico (UDE) y umbral de acción (UDA) para las mitades superior, inferior y promedio, para los estados fenológicos reproductivos de R3, R4 y R5.

El UDE fue determinado utilizando como base de cálculo la fórmula de Munford y Norton (1984) modificada para enfermedades (Casa et al., 2009; Carmona et al., 2012):  $IE = [Cc / (Pp \cdot Cd)] \cdot Ec$ , donde, IE = intensidad de la enfermedad = UDE; Cc = costo del control; Pp = precio de la tonelada de soja; Cd = coeficiente de daño (se calcula en función del rendimiento potencial); Ec = eficiencia del control del fungicida usado. La Ec fue considerado en 70 % y fue estimado en base a experimentos de evaluación de fungicidas para la MOR (Dashiell & Akem, 1991; Mwase & Kapooria, 2000; Carmona et al., 2010).

Para obtener los umbrales fue necesario sustituir los valores (de precio de la soja, del fungicida y de la aplicación). Se propuso establecer los UDE en valores de número de lesiones por foliolo que se considera una medición objetiva, más sencilla y práctica para el productor, que la estimación visual de la severidad por superficie foliar afectada (Reis, et al., 2012). Para la determinación del UDA, se propuso una disminución del 20 % del UDE obtenido (Carmona, et al., 2012).

## **Rendimiento**

Se cosecharon mecánicamente con una cosechadora experimental, las tres líneas centrales de cada parcela, se determinaron los Kg/ha y peso de 1.000 semillas. Posteriormente se analizó estadísticamente la información obtenida mediante análisis de varianza y test de diferenciación de medias (Tukey 5 %).

## **Análisis de semillas (sanitario y de poder germinativo)**

Al finalizar el ensayo, se realizó un análisis de sanidad de semilla para determinar la presencia de *C. sojina* en muestras de los tratamientos. Para ello se analizaron 200 semillas/parcela por el método del papel de filtro con restricción hídrica con NaCl ajustado a un potencial osmótico de -1Mpa (Machado et al., 2003). Las semillas de cada muestra fueron sembradas en bandejas plásticas (16 x 20 x 5 cm) con 50 semillas por muestra. La incubación se realizó a temperatura constante 25°C  $\pm$ 2 y ciclos alternados de 12 h de luz fluorescente y 12 h de oscuridad, durante 7 días. La identificación del agente etiológico de la MOR se realizó bajo lupa binocular 20-40X mediante la observación de conidióforos y conidios de *C. sojina*. Se registró la incidencia como porcentaje de semillas infectadas (Scandiani & Carmona, 2009; Scandiani et al., 2009 a y b). Para determinar el poder germinativo (%), plántulas anormales (nº) y semillas muertas (nº) para cada tratamiento, se aplicaron las técnicas más usuales descritas por Scandiani & Luque (2009). Se realizaron los test ANOVA y DMS (5%) para determinar las diferencias entre tratamientos.

## **RESULTADOS**

La principal enfermedad presente en el ensayo fue la MOR. Sólo algunos foliolos presentaron algunos síntomas aislados de mancha marrón cuya severidad no interfirió con el objetivo del ensayo.

Todos los aislamientos realizados fueron identificados como *C. sojina*. Las colonias en APG alcanzaron un diámetro promedio de 4,0 cm. Las características de los conidios fueron: longitud media:  $54,42 \pm 19,59 \mu\text{m}$ ; ancho medio:  $5,42 \pm 1,29 \mu\text{m}$ ; número de septos: 1-9 (Fotografías 7 y 8).



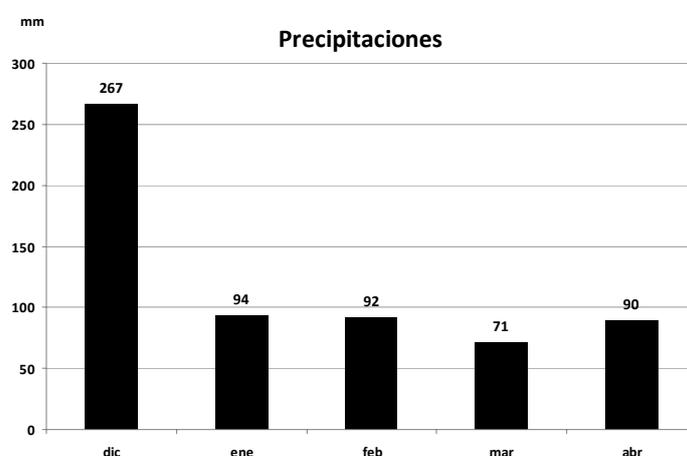
**Fotografía 7.** Colonia de *Cercospora sojina* en APG.



**Fotografía 8.** Conidios y conidióforos de *Cercospora sojina* (coloreados con azul de algodón).

Durante la ejecución del ensayo y la aplicación del momento 2 en las parcelas del tratamiento 9, no se realizaron las aplicaciones correctamente por lo que lamentablemente el tratamiento 9 no se lo incluyó en el análisis de los resultados y discusión.

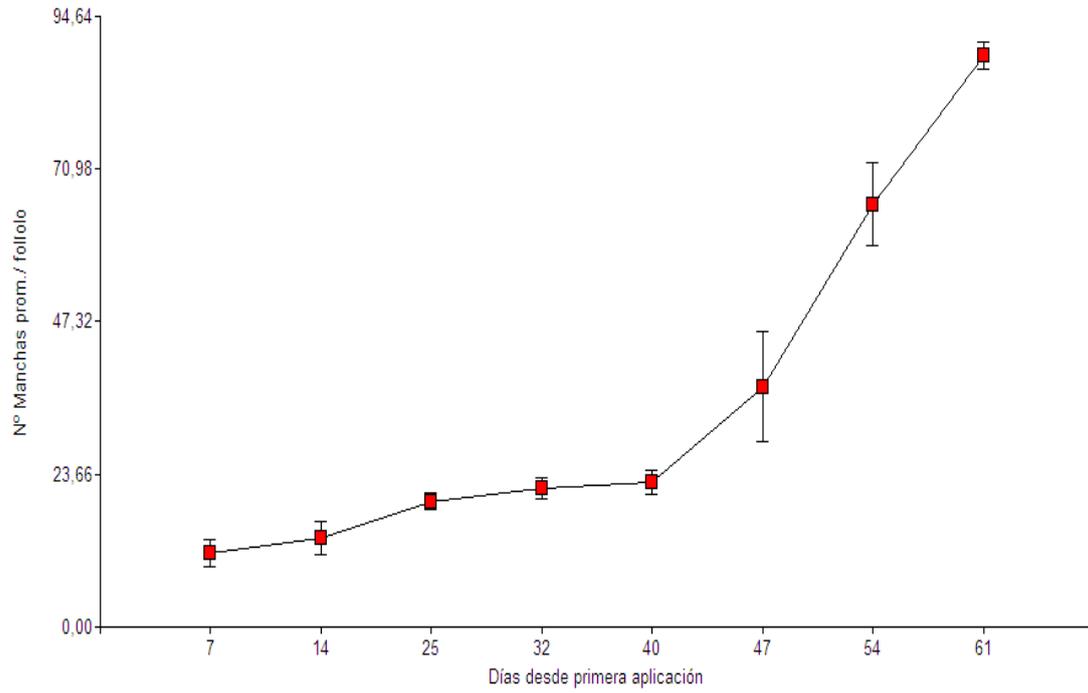
Durante el ciclo del cultivo, las precipitaciones pluviales contabilizadas desde diciembre a marzo, fueron de 524 mm siendo diciembre el mes más lluvioso con 267 mm. (Figura. 4). Las temperaturas medias oscilaron entre 17 y 29°C.



**Figura 4.** Precipitaciones pluviales mensuales acumuladas en el sitio del ensayo (diciembre 2010-abril 2011).

El comportamiento policíclico de la enfermedad quedó demostrado en la curva que se presenta en la figura 5, donde se muestra que los primeros síntomas de MOR, se presentaron en el estado fenológico R2. Estos síntomas se incrementaron exponencialmente. La forma de la curva de crecimiento presentó un patrón sigmoideo típico de una epidemia policíclica (Figura 5). Para ambos estratos se cuantificó el número de lesiones por foliolo hasta los 63 días después de la aplicación (DDA) donde fue registrado el valor máximo de más de 100 lesiones por foliolo en el estrato superior (estado fenológico R7) (Figura 6). A medida que avanzó la epidemia, el estrato superior mostró un mayor número de lesiones por foliolo que el estrato inferior.

Curvas epidemiológicas testigo. Promedio entre estratos inferior y superior.



**Figura 5.** Progreso temporal de *Cercospora sojina*. Número de manchas por foliolo promedio de ambos estratos.

Curvas epidemiológicas testigo. Evolución estratos inferior y superior.

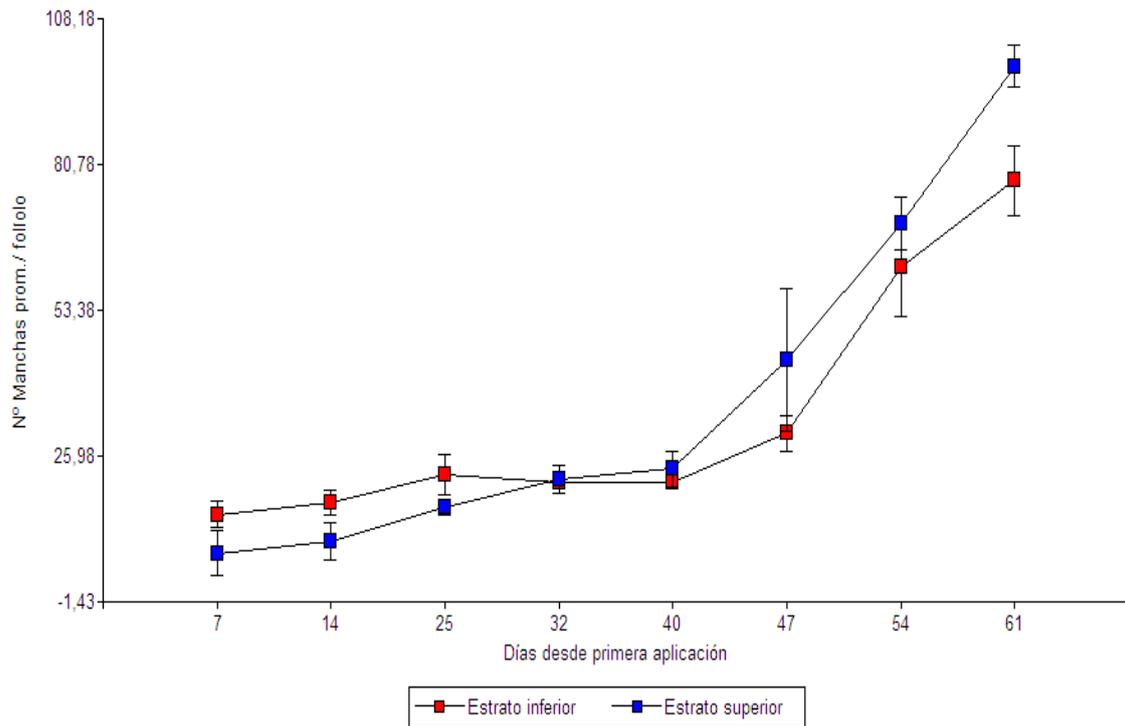


Figura 6. Progreso temporal de *Cercospora sojina* correspondiente al estrato inferior y superior de la planta.

De acuerdo al gráfico del comportamiento de la MOR (Figura 7), los valores de severidad fueron ajustados a un modelo logístico. Este modelo logístico representó una buena descripción de la curva de progreso de la epidemia general ajustada.

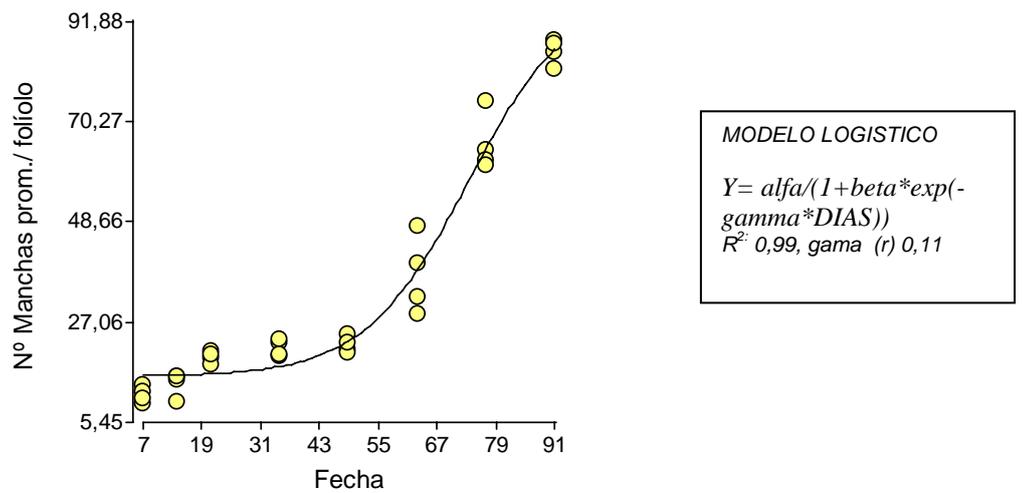
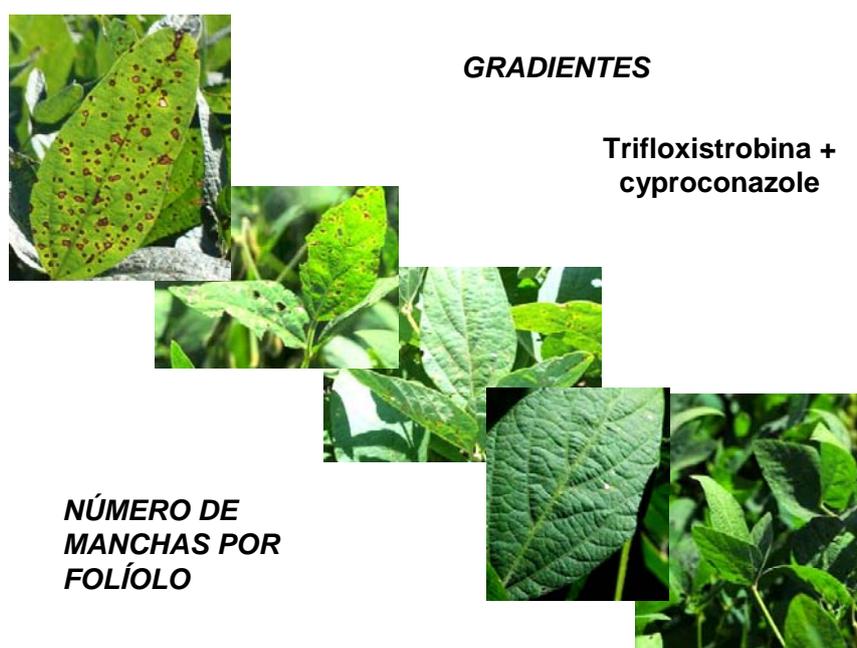


Figura 7. Curva epidemiológica ajustada de la MOR tratamiento testigo.

## Progreso de la enfermedad en los diferentes tratamientos

Los diferentes tratamientos presentaron números de manchas por folíolo inferiores al testigo. Las diferencias fueron significativas ( $p < 0,05$ ) principalmente en R5, para el estrato superior y el promedio de ambos (Tabla 1). Las aplicaciones químicas lograron disminuir la enfermedad generando un gradiente (Fotografía 9) que alcanzó valores desde 0,7 a 18 manchas por folíolo dependiendo del tratamiento, la fecha de cuantificación y estrato considerado (Figuras. 8, 9 y 10).

De manera general, y para la casi totalidad de las fechas evaluadas, el tratamiento 5, fue el que más frecuentemente presentó un menor número de lesiones y el tratamiento 6 un número mayor.

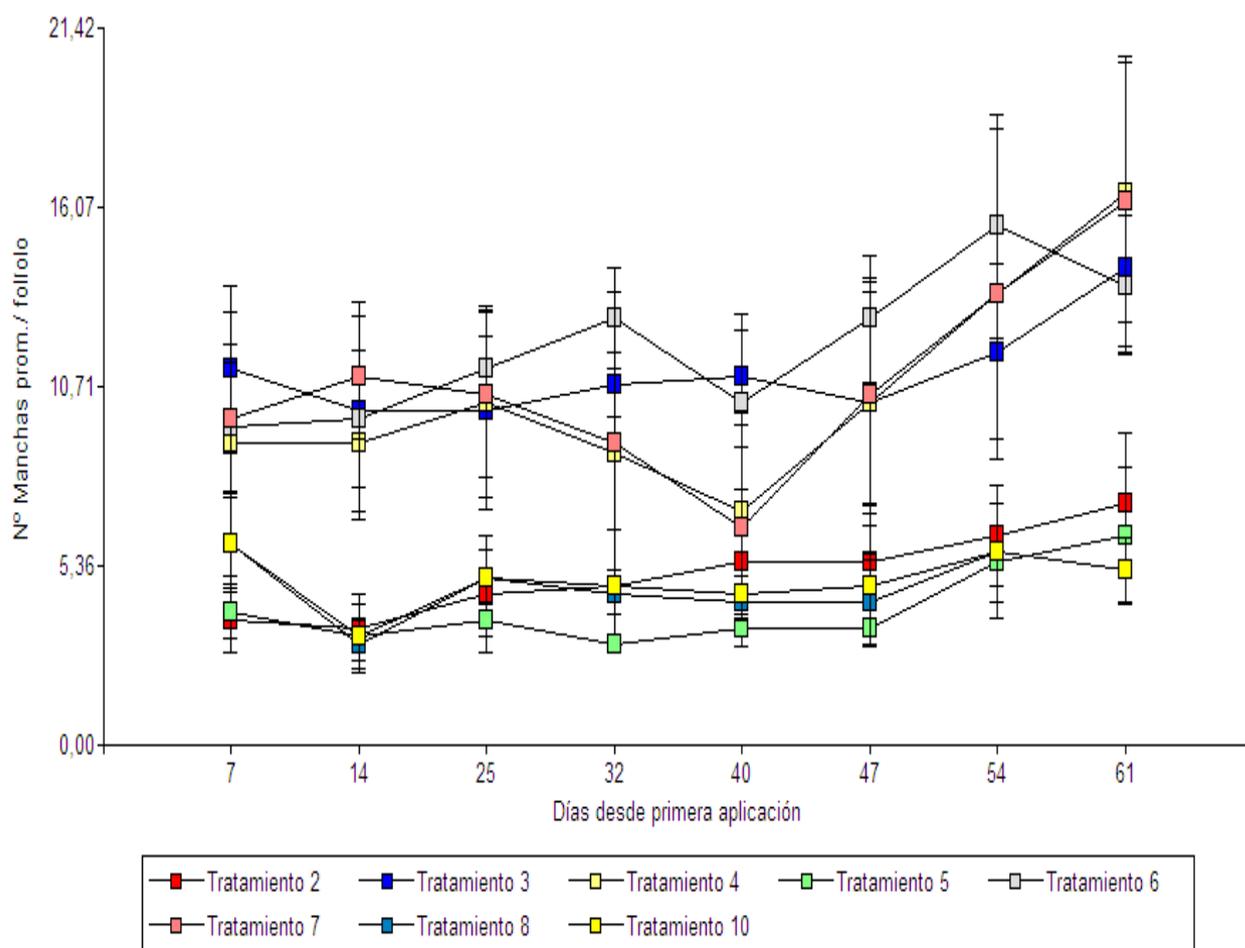


**Fotografía 9.** Gradiente de MOR sobre folíolos de diferentes tratamientos (Autor. Silvana Di Núbila).

**Tabla 1.** Número de manchas promedio obtenidos en cada tratamiento, para cada estado fenológico reproductivo, referidos al estrato medio inferior, superior y promedio de ambos. (7,14 Y 28 DDA, días después de la aplicación).

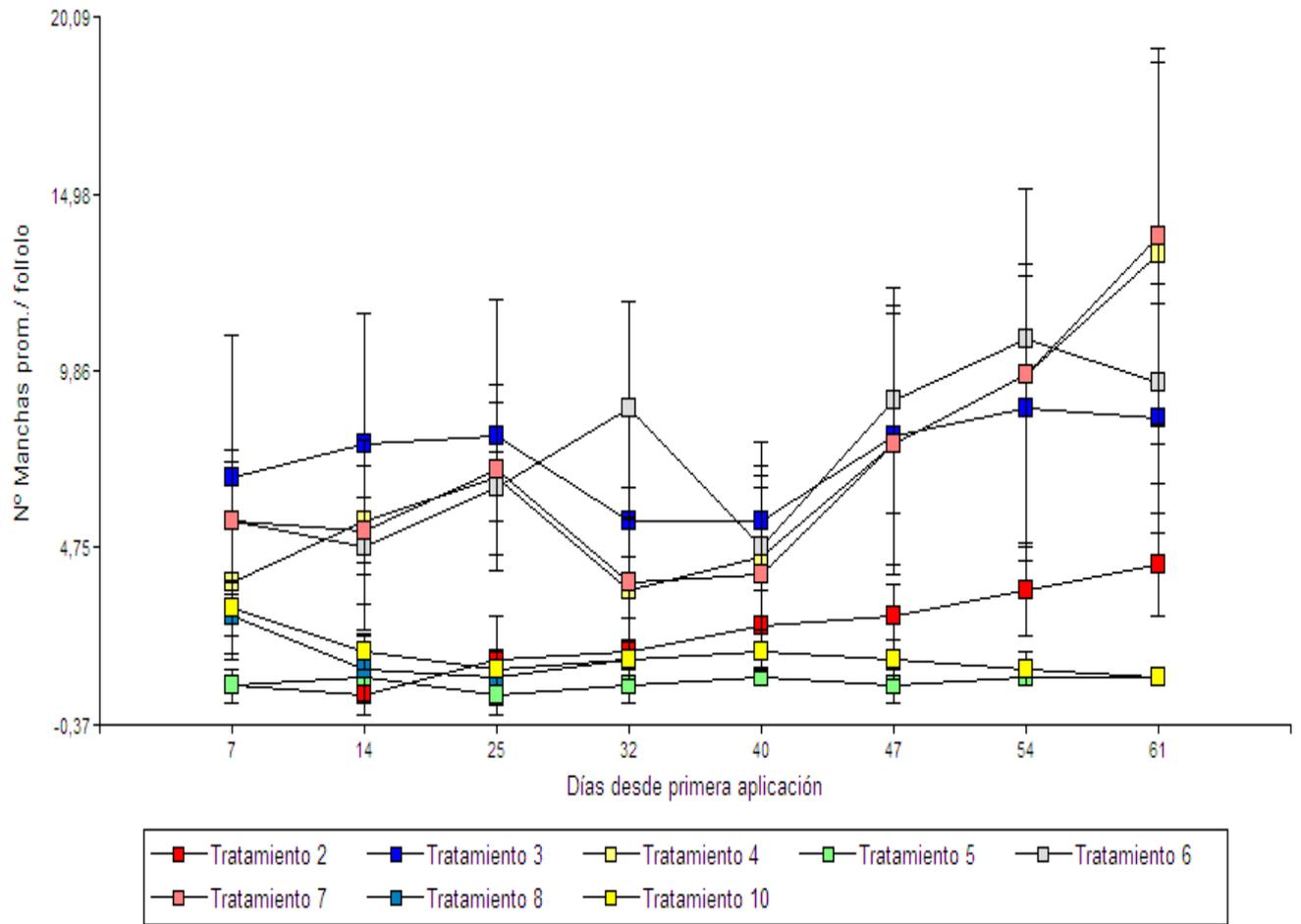
MOMENTO	R3		R3		R4		R4		R5		R5							
	7DDA		7DDA		14DDA		14DDA		28DDA		28DDA							
TRAT	INF	SUP	MED	INF	SUP	MED	INF	SUP	MED	INF	SUP	MED						
1	13,6	ab	7,2	b	10,4	bc	16,6	c	9,2	b	12,9	b	21,1	c	15,7	c	18,4	c
2	6,1	a	0,9	a	3,5	a	6,1	ab	0,7	a	3,4	a	6,9	a	1,6	a	4,3	a
3	15,7	b	6,7	b	11,2	c	13,1	c	7,5	b	10,3	b	12,3	ab	7,9	b	10,1	b
4	13,8	ab	3,9	ab	8,9	bc	12,5	bc	5,5	ab	9,0	b	13,8	abc	6,6	b	10,2	b
5	6,8	ab	0,7	a	3,8	a	6,1	ab	0,7	a	3,4	a	7,3	a	0,6	a	3,9	a
6	13,4	ab	5,5	ab	9,4	bc	14,8	c	4,9	ab	9,8	b	16,2	bc	6,5	b	11,3	b
7	14,2	ab	5,7	ab	9,9	bc	17,2	c	5,3	ab	11,3	b	13,9	abc	6,8	b	10,4	b
8	8,9	ab	2,7	ab	5,8	ab	4,9	a	1,2	a	3,0	a	8,3	a	1,3	a	4,8	a
10	8,9	ab	2,9	ab	5,9	ab	4,9	a	1,8	a	3,3	a	8,3	a	1,5	a	4,9	a

Curvas de progreso de la mancha ojo de rana bajo 8 tratamientos químicos. Evolución PROMEDIO estratos inferior y superior



**Figura 8.** Evolución del número de manchas por follolo promedio para los diferentes tratamientos químicos.

Curvas de progreso de la mancha ojo de rana bajo 8 tratamientos químicos. Evolución estrato SUPERIOR



**Figura 9.** Evolución del número de manchas por foliolo en el estrato superior para los diferentes tratamientos químicos.

Curvas de progreso de la mancha ojo de rana bajo 8 tratamientos químicos. Evolución estrato INFERIOR

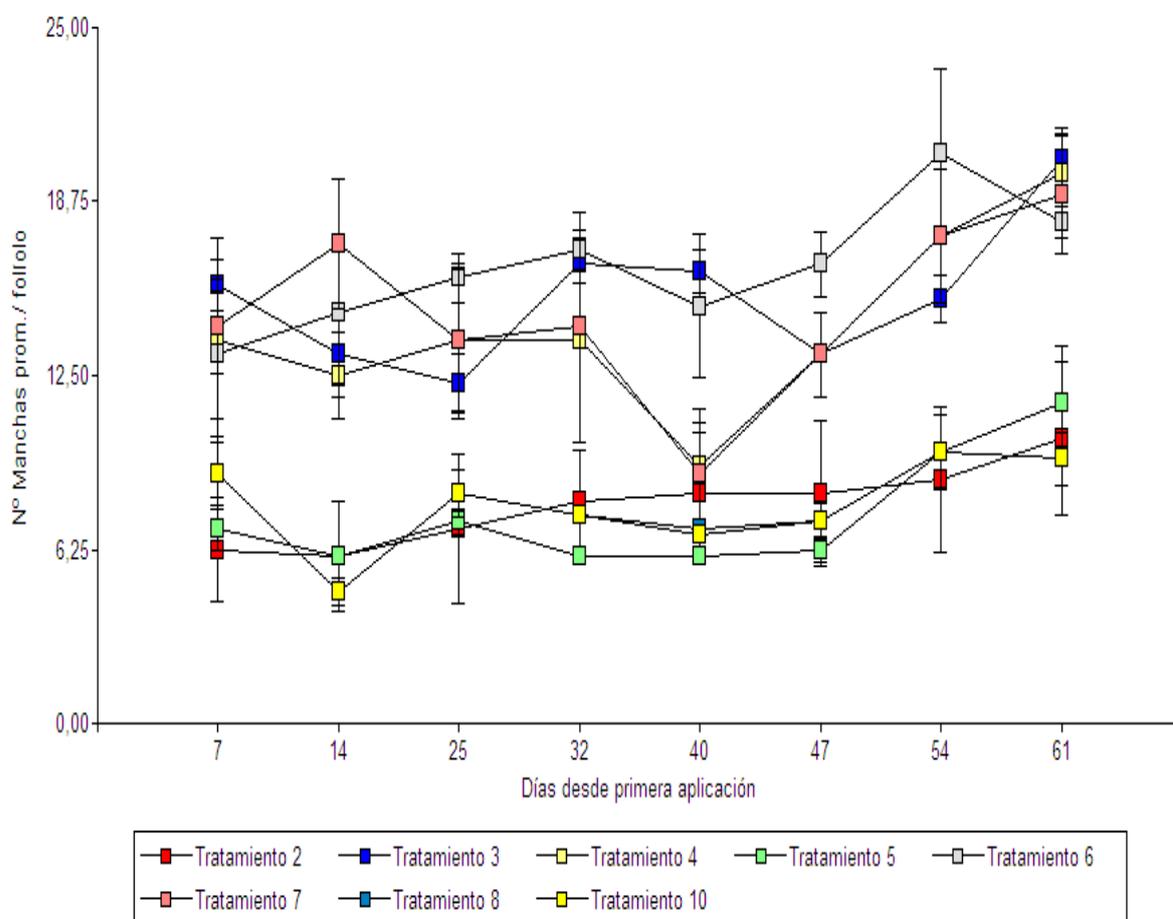
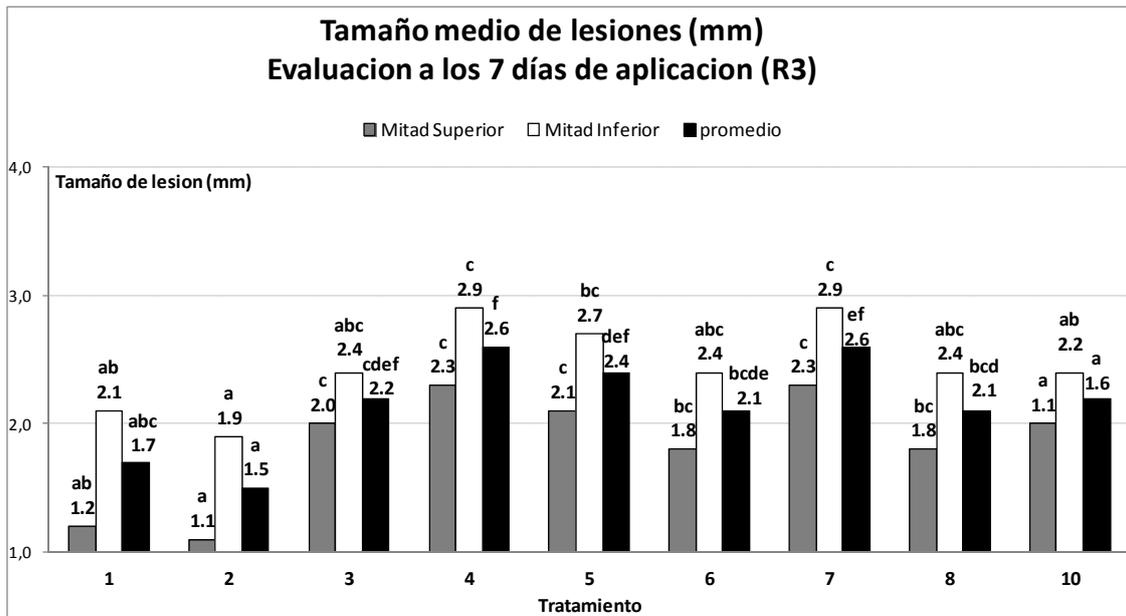


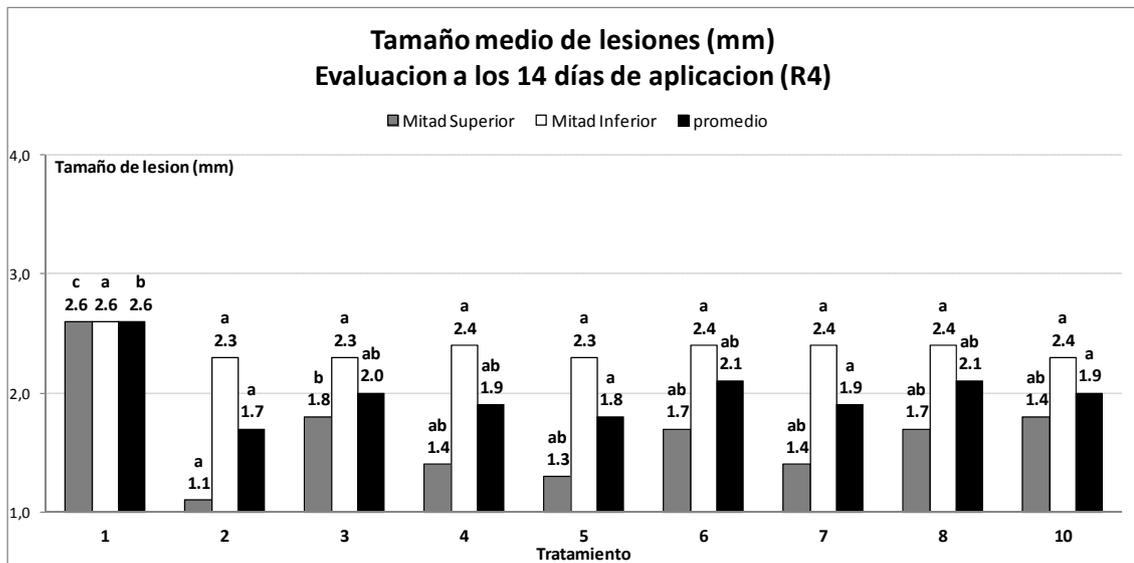
Figura 10. Evolución del número de manchas por folíolo en el estrato inferior para los diferentes tratamientos químicos.

### Tamaño de las lesiones

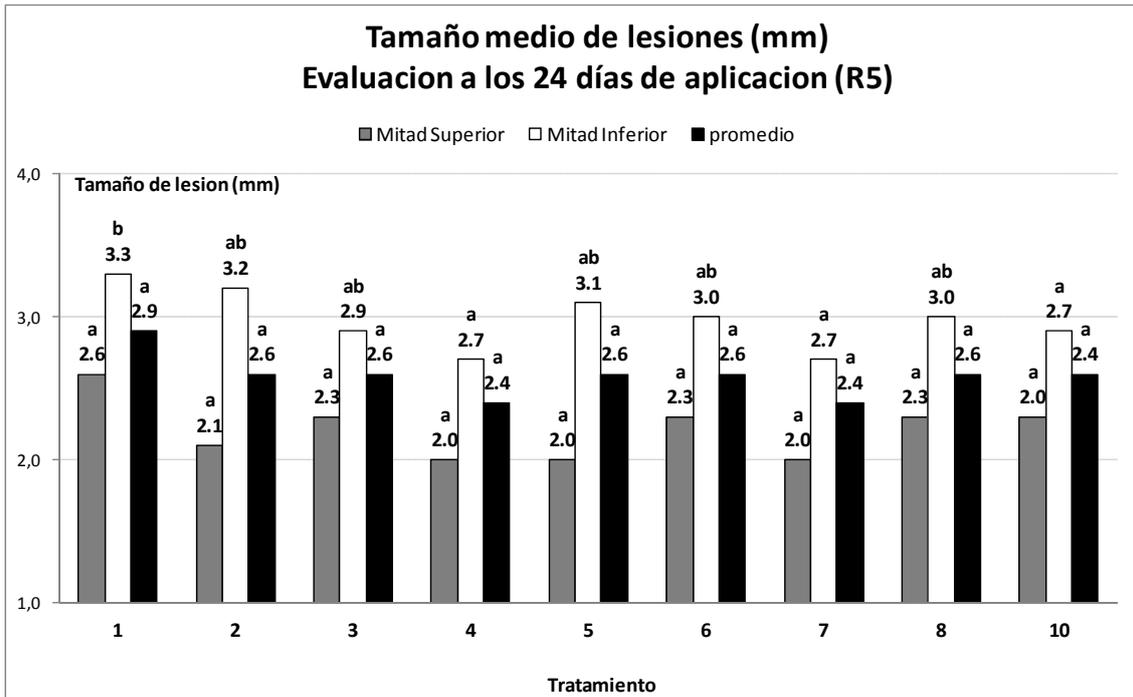
El tamaño de la lesión mostró diferencias de acuerdo al tratamiento y momento de la evaluación. Los tamaños para el promedio de estratos y para la evaluación en R3, variaron de 1,5 a 2,6 mm. Para la evaluación en R4 el testigo alcanzó el máximo valor de 2,6 mm en todos los niveles de medición y para la cuantificación de R5 todas las lesiones en todos los tratamientos superaron los 2 mm, no observándose diferencias significativas entre ellos ( $p < 0,05$ ), siendo el máximo de 3,3 mm que además corresponderían al estrato foliar inferior del testigo (Figuras 11 12 y 13).



**Figura 11.** Tamaño medio de lesiones de la MOR evaluada en el estado R3 en el estrato inferior, superior y promedio de ambos, en los diferentes tratamientos. Letras iguales indican diferencias no significativas según test de Tukey al 5%.



**Figura 12.** Tamaño medio de lesiones de la MOR evaluada en el estado R4 en el estrato inferior, superior y promedio de ambos, en los diferentes tratamientos. Letras iguales indican diferencias no significativas según test de Tukey al 5%.



**Figura 13.** Tamaño medio de lesiones de la MOR evaluada en el estado R5 en el estrato inferior, superior y promedio de ambos, en los diferentes tratamientos Letras iguales indican diferencias no significativas según test de Tukey al 5 %.

### Porcentajes de control

El control estuvo en función del momento de aplicación y evaluación, siendo siempre mayor a medida que se aumentaron las dosis y/o número de aplicaciones. A modo de ejemplo, se registraron valores de más del 90 % de control en R5 (estrato superior) siendo el porcentaje de control en R3 menor (Tabla 2).

**Tabla 2.** Porcentajes de control obtenidos para cada tratamientos, momento y estrato foliar de evaluación

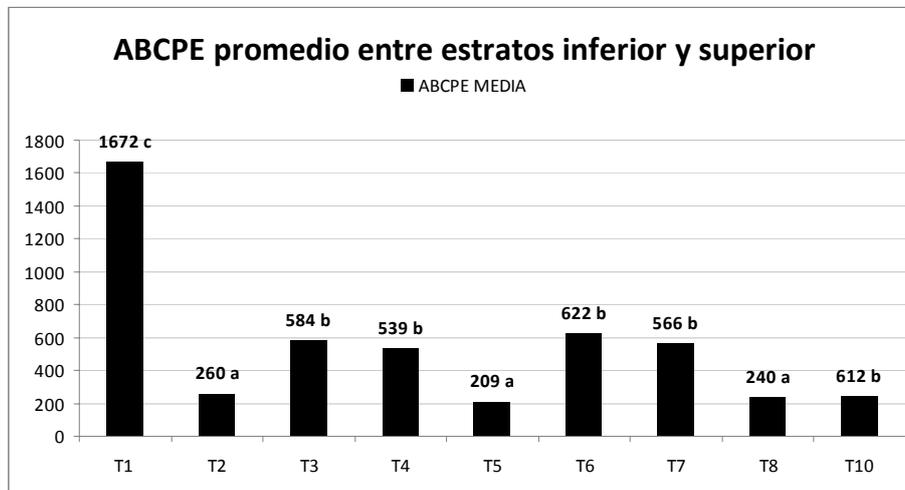
TRAT	Mitad Inferior			Mitad Superior			Promedio mitades		
	7 DDA	14 DDA	24 DDA,	7 DDA	14 DDA	24 DDA,	7 DDA	14 DDA	24 DDA,
	R3	R4	R5	R3	R4	R5	R3	R4	R5
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	55	63	67	88	93	90	66	74	77
3	-16	21	42	7	19	50	-8	20	45
4	-2	25	35	45	41	58	15	30	44
5	50	63	65	90	93	96	64	74	78
6	1	11	23	24	47	59	9	24	38
7	-5	-3	34	21	42	56	4	13	43
8	35	71	61	63	87	91	45	77	74
10	35	71	61	60	81	90	43	74	73

### Área bajo la curva de progreso de la enfermedad - MOR (ABCPE)

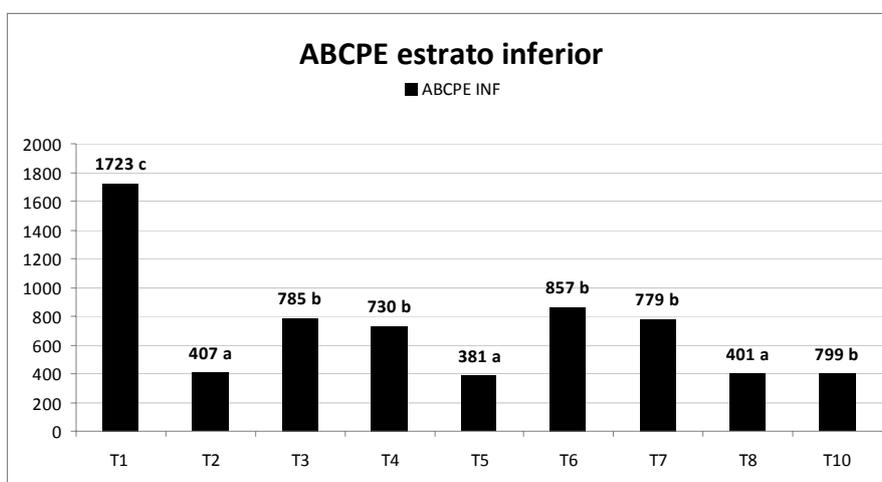
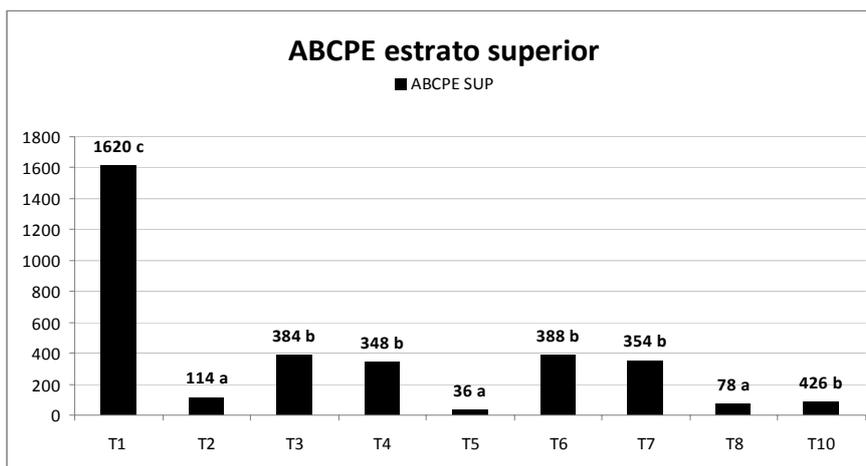
Otra forma en que se representa la epidemia fue mediante el ABCPE calculada como promedio y para cada estrato (Tabla 3 y Figuras 14, 15 y 16). Se observó que al final de la epidemia la intensidad de la MOR fue siempre mayor en la parcela testigo en relación a cualquiera de los tratamientos químicos realizados (<0,05).

**Tabla 3.** Valores de ABCPE obtenidos en cada tratamiento, estrato foliar y promedio.

TRATAMIENTOS	ABCPE SUP	ABCPE INF	ABCPE Media
T1 (testigo)	1620	1723	1672
T2	114	407	260
T3	384	785	584
T4	348	730	539
T5	36	381	209
T6	388	857	622
T7	354	779	566
T8	78	401	240
T10	90	402	246



**Figuras 14.** Área bajo la curva del progreso de mancha ojo de rana en los diferentes tratamientos por estrato y promedio. Letras iguales indican diferencias no significativas según test de Tukey al 5 %.

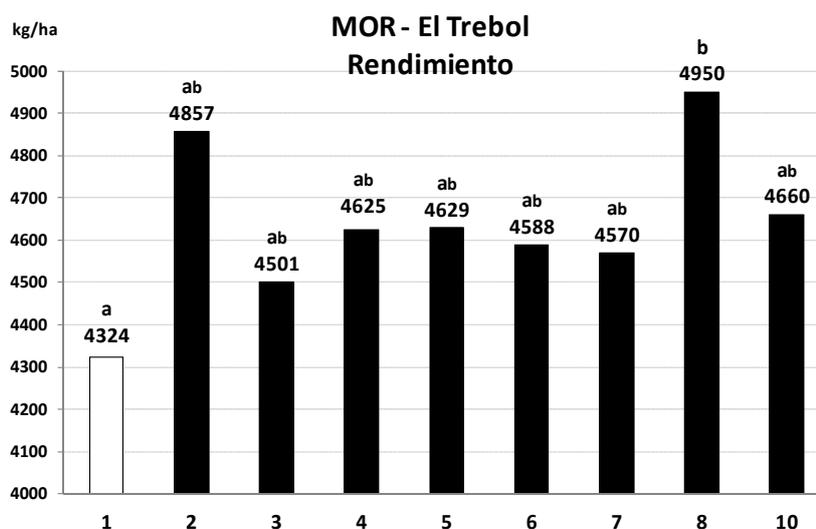


**Figuras 15 y 16.** Área bajo la curva del progreso de mancha ojo de rana en los diferentes tratamientos por estrato y promedio. Letras iguales indican diferencias no significativas según test de Tukey al 5 %.

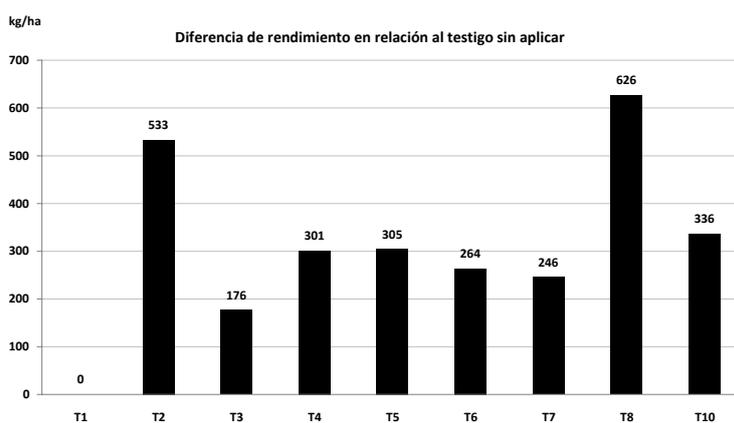
## Rendimiento

En el testigo que no recibió aplicaciones, el rendimiento fue menor aunque solo se diferencia significativamente del tratamiento 8. En lo que hace a los tratamientos químicos, todos tuvieron rendimientos superiores al control sin detectarse diferencias significativas entre ellos ( $p < 0,05$ ) (Figura 17).

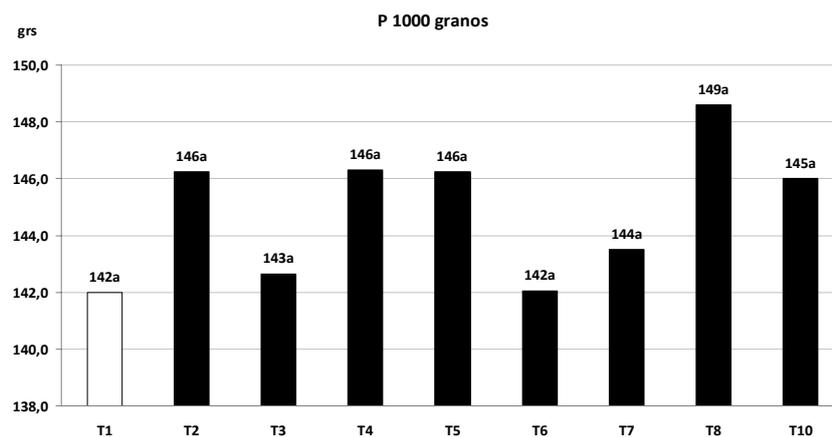
En relación a los rendimientos obtenidos, se observaron diferencias respecto del testigo que variaron entre 177 a 626 kg/ha (Figura 18), obteniendo un gradiente de respuesta en función de los tratamientos. El peso de 1000 granos varió entre 142 a 149 g y no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos (Figura 19).



**Figura 17.** Rendimiento (kg/ha) obtenidos para cada tratamiento. Letras iguales indican diferencias no significativas según test de Tukey al 5 %.



**Figura 18.** Diferencia en rendimiento (kg/ha) en relación al testigo sin aplicar para los diferentes tratamientos químicos.



**Figura 19.** Peso (g) de 1000 granos para los diferentes tratamientos. Letras iguales indican diferencias no significativas según test de Tukey al 5 %.

### Obtención de los UDE

Con los datos de severidad (número de lesiones promedio por folíolo central y rendimiento se obtuvieron las funciones de daño para cada estado fenológico reproductivo principal (R3, R4, R5), y los diferentes UDE y UDA (Tabla 4).

**Tabla 4.** Valores de función de daño, coeficiente de determinación, valor  $p$ , Coeficiente de daño, UDE y UDA para un cultivo de soja de 4Tn cuyo precio sea de 320USD/Tn, a un costo de control de 25USD/ha con una eficiencia de control del 70 % para estrato foliolar inferior superior y promedio de ambos y para los principales estadios fenológicos reproductivos.

	R3			R4			R5		
	Inferior	Superior	Promedio	Inferior	Superior	Promedio	Inferior	Superior	Promedio
<b>función</b>	$y = -0.0348x$	$y = -0.058x +$	$y = -0.0452x$	$y = -0.0271x$	$y = -0.0492x$	$y = -0.0372x$	$y = -0.0306x$	$y = -0.0317x$	$y = -0.0319x$
<b>daño</b>	+ 5.0259	4.867	+ 4.9791	+ 4.923	+ 4.8344	+ 4.908	+ 5.0013	+ 4.8042	+ 4.9114
<b>(Tn)</b>									
<b>R<sup>2</sup></b>	0.4584	0.5714	0.5201	0.5788	0.7117	0.6658	0.6285	0.6855	0.6735
<b>valor-p</b>	0.0377	0.0244	0.0339	0.0167	0.0032	0.0088	0.0123	0.0056	0.0065
<b>B</b>	0,0348	0,058	0,0452	0,0271	0,0492	0,0372	0,0306	0,0317	0,0319
<b>Yo</b>	5,0259	4,867	4,9791	4,923	4,8344	4,908	5,0013	4,8042	4,9114
<b>Función</b>									
<b>daño</b>									
<b>ajustada</b>	R= 1000 -6,9	R= 1000 -1,1	R= 1000 -						
<b>a</b>	X	X	9 X	5,5 X	10 X	7,5 X	6,1 X	6,5 X	6,4 X
<b>1000Kg</b>									
<b>Función</b>									
<b>daño</b>	R= 1 -	R= 1 -	R= 1 -	R= 1 -	R= 1 -	R= 1 -	R= 1 -	R= 1 -	R= 1 -
<b>ajustada</b>	0,0069 X	0,0011 X	0,009 X	0,0055 X	0,01 X	0,0075 X	0,0061 X	0,0065 X	0,0064 X
<b>a Tn</b>									
<b>Cd</b>	0,006924	0,011917	0,009078	0,005505	0,010177	0,007579	0,006118	0,006598	0,006495
<b>R</b>	4	4	4	4	4	4	4	4	4
<b>CdA</b>	0,02770	0,04767	0,03631	0,02202	0,04071	0,03032	0,02447	0,02639	0,02598
<b>Cc USD</b>	25	25	25	25	25	25	25	25	25
<b>Pp USD</b>	320	320	320	320	320	320	320	320	320
<b>Ec</b>	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
<b>UDE</b>	1,97	1,15	1,51	2,48	1,34	1,80	2,23	2,07	2,10
<b>UDA</b>	1,58	0,92	1,20	1,99	1,07	1,44	1,79	1,66	1,68

$R^2$  = Coeficiente de determinación;

b = pendiente;

Yo = ordenada al origen;

X: número promedio de lesiones por foliolo central;

Cd = Coeficiente de daño (kg/Ha perdidos por unidad de severidad (una lesión promedio por foliolo central) para una Tn de rendimiento);

Función daño ajustada a Tn: es la función de daño que se ajusta por Tn de rendimiento (1000 kg)

R = Rendimiento potencial (Tn/ha);

CdA = Coeficiente de daño actualizado (se calcula en función del rendimiento potencial del cultivo que se desee determinar el UDE, Se multiplica el Cd x el rendimiento potencial en Tn);

Cc = Costo de control promedio con estrobilurina + triazol (USD /ha);

Pp = Precio de la tonelada de soja (USD /tn);

Ec = eficiencia del control del fungicida usado (% reducción de los síntomas en base a su testigo no tratado, se asume para control de mancha ojo de rana una eficiencia del 70 %)

UDE = umbral de daño económico;

UDA = umbral de acción: 20 % inferior al UDE)

El UDE es determinado utilizando como base de cálculo la fórmula de Munford & Norton (1984) modificada para enfermedades:  $IE = [ Cc / (Pp \times CdA) ] \times Ec$ .

### **Patología de semillas**

Los análisis de patología y de poder germinativo mostraron que las semillas de los distintos tratamientos no mostraron diferencias significativas (Tablas 5 y 6). Los niveles de infección de *C. sojina* variaron entre 1,81 % (Testigo) a 0 % (Tratamiento 5). La calidad de semilla en relación al poder germinativo, plántulas anormales y semillas muertas tampoco mostraron diferencias entre tratamientos.

**Tabla 5.** Incidencia (%) (Porcentaje de infección) de *Cercospora sojina* en semilla en los tratamientos.

\*BTRHD, Blotter test con restricción hídrica y desinfección superficial. Letras iguales indican diferencias no significativas según DMS al 5%.

Tratamientos	Incidencia (%) BTRHD*
1-	1.81 a
2-	1.40 a
3-	0.71 a
4-	1.81 a
5-	0.00 a
6-	0.40 a
7-	0.40 a
8-	0.00 a
10-	0.40 a
cv%	30.71

**Tabla 6.** Poder germinativo (%), plántulas anormales (n°) y semillas muertas (n°) en los tratamientos.

\*\* Poder germinativo estándar en arena. Letras iguales indican diferencias no significativas según DMS al 5 %.

Tratamientos	Poder germinativo (%)*	Plántulas anormales (n°)	Semillas muertas (n°)
1-	91.23 a	4.39 a	3.92 a
2-	92.23 a	3.61 a	3.94 a
3-	91.19 a	4.25 a	3.74 a
4-	93.25 a	3.48 a	3.06 a
5-	91.47 a	3.48 a	4.45 a
6-	89.24 a	3.74 a	6.88 a
7-	91.99 a	2.61 a	5.07 a
8-	92.98 a	3.97 a	2.57 a
10-	91.49 a	3.41 a	4.87 a
cv%	1.79	20.80	31.09

## DISCUSION

En el ensayo realizado, la MOR se manifestó en niveles tales que se consideró epidemia. Tanto la variedad seleccionada (NA4990RG) como las condiciones ambientales, contribuyeron a la ocurrencia de la enfermedad. En relación a las variables meteorológicas registradas en el ensayo, las mismas presentan un estrecho vínculo con las que han sido descritas como clave para los requerimientos biológicos, de infección y supervivencia de *C. sojina* (Phillips, 1999). De acuerdo con Yorinori (1989), y Mian y colaboradores (2008), el desarrollo de la enfermedad se ve favorecido por temperaturas entre 25 y 30-35°C, lluvias abundantes, rocío y humedad relativa ambiente superior a 90 %, condiciones que fueron registradas durante el ensayo.

El genotipo sembrado demostró ser susceptible y esto permitió detectar diferencias en el comportamiento de las plantas tratadas en lo que hace al desarrollo de lesiones y al rendimiento, entre el testigo sin tratar y las plantas tratadas con terapicos.

Si bien esta variedad es clasificada como moderadamente susceptible (Distéfano et al., 2009 b y c) mostró elevado número de lesiones por foliolo, bajo las condiciones de este ensayo. Probablemente si se hubiera cultivado un lote con una variedad aún más susceptible, como DM4670 o A4613RG, probablemente se hubieran observado diferencias mayores.

Las mediciones repetidas en cada unidad experimental (planta) proporcionaron información sobre la tendencia en tiempo de la variable de respuesta (severidad) de los tratamientos. La marcación permanente de las plantas con precintos y su medición, generó información sobre tendencias en el tiempo que pudieron revelar qué tan rápido responden las unidades al tratamiento o durante cuánto tiempo se manifestaron los efectos de los tratamientos en las unidades del estudio. También fue posible evaluar las diferencias entre las tendencias de los tratamientos. De acuerdo con Kuehl (2001), las observaciones repetidas de la misma unidad experimental (plantas marcadas) a

través del tiempo, con frecuencia son más eficientes que el uso de una unidad experimental diferente para cada observación en el tiempo. No solo se requieren menos unidades, lo que reduce costos, también la estimación de las tendencias en el tiempo en la misma unidad tienden a ser menos variables que las mediciones en unidades distintas, por lo tanto el efecto de las mediciones repetidas es similar al efecto del uso de bloques.

Las mediciones realizadas mediante el conteo del número de lesiones o manchas por folíolo fueron muy útiles para analizar las diferencias entre tratamientos y entre estratos foliares debido a que dicha determinación fue sencilla, de muy fácil seguimiento y principalmente objetiva y reproducible por distintos evaluadores que permitió entender y representar la epidemia. Estas lesiones al ser fácilmente individualizadas, de márgenes bien definidos generaron muy poca dificultad para el registro. El tipo de cuantificación de una enfermedad que se aplique en estudios epidemiológicos, es de mucha importancia, especialmente cuando uno de los objetivos es la futura recomendación para productores y asesores. Si bien existen escalas gráficas descriptivas para medir severidad de la MOR como porcentaje de tejido infectado o necrosado (Distefano et al., 2009c) que se basa en observaciones subjetivas que han demostrado utilidad por su fácil empleo y ahorro de tiempo, presentan dos problemas importantes a considerar: 1) El observador debe interpolar la severidad encontrada de acuerdo a los pocos patrones graficados (las escalas generalmente ofrecen pocas "imágenes" porcentuales de la enfermedad), y 2) el observador está imposibilitado de conocer cuánto es el error experimental que existe entre la severidad observada o estimada y la severidad real. De todas maneras se considera que la cuantificación del número de lesiones por folíolo es una variable posible y eficiente no sólo para cuantificar, en estudios epidemiológicos, a la MOR, sino también para utilizarla objetivamente y en forma rápida en mediciones de campo.

En un trabajo reciente, Díaz, et al., (2012) demostraron que las variables: posición de los folíolos, número promedio de manchas y tamaño promedio de la lesión,

son las que mejor explicaron la variabilidad total de la MOR y por ende las que mejor contribuyen a entender y representar su epidemia. Además, estos autores, mencionan que las variables mejor representadas son aquellas que contemplan contar número de lesiones. Este es un criterio que genera menos desviaciones de las lecturas ya que las lesiones causadas por *C. sojina* al ser redondeadas y de bordes bien definidos son fácilmente individualizadas.

En relación a la epidemiología de la enfermedad, al graficar la epidemia en las parcelas testigo se observó que el comportamiento correspondió a una típica enfermedad policíclica (Van Der Plank, 1963; Campbell & Madden, 1990). En este tipo de enfermedades, la cantidad de inóculo inicial o de enfermedad inicial ( $Y_0$ ) no es determinante, y la cantidad de inóculo producido localmente por el patógeno (número de lesiones esporulantes) es el factor principal que controló el desarrollo de la epidemia. Por esta razón, los patógenos policíclicos que tienen un corto ciclo de reproducción son capaces de generar epidemias mas explosivas, tal es el caso de *C. sojina* que ataca repetidamente al hospedante durante su vida. Estas consideraciones son muy importantes porque la MOR no debe ser considerada como una EFC, debido a que su epidemiología corresponde a una enfermedad de tipo policíclica explosiva, de numerosos ciclos secundarios y de menor incubación y latencia en relación a las EFC.

Al comparar la evolución del número de lesiones por folíolo en los dos estratos foliares (superior e inferior) (Tabla 1 y Figuras. 8, 9 y 10), se observó que durante las primeras mediciones el número de manchas por folíolo fue mayor en el estrato inferior mientras que a medida que transcurre el tiempo esta relación se invierte probablemente por la mayor cantidad de hojas y abundante tejido nuevo donde se torna mas susceptible. De acuerdo con Mian y colaboradores (2008), *C. sojina* ataca preferentemente tejidos jóvenes siendo las hojas y folíolos nuevos, los más susceptibles a la enfermedad siempre ubicados en el estrato superior de las plantas.

Al abordar la cuantificación del tamaño de las lesiones, los valores obtenidos (mm) se corresponden con los informados en la literatura (Sinclair & Backman, 1989;

Mian et al., 2008). Desde el punto de vista genético, el tamaño de la lesión podría estar relacionado con el comportamiento sanitario del genotipo frente a esta enfermedad (Scandiani et al., 2010). De esta manera en el testigo sin aplicar y también en la mayoría de los tratamientos alcanzó valores entre 2-3 mm (en el estrato inferior el testigo llegó a 3,3 en la evaluación en R5) lo que indicaría una reacción de moderadamente susceptible a susceptible.

Al analizar las curvas de progreso de la MOR en los tratamientos químicos, y sus correspondientes controles (%) y ABCPE, la mezcla de trifloxistrobina + cyproconazole en diferentes dosis y momentos provocó una disminución de la enfermedad progresivamente y disminuyó su valor final al compararlo con las severidades de las parcelas testigo. El valor más bajo de ABCPE para el promedio de estratos representó sólo entre un 12,5 – 14 % en relación al testigo (valores de ABCPE de 209 y 240 en los tratamientos 5 y 8; vs. 1672 del testigo. Tabla 3). Este impacto era de esperar ya que estos tratamientos presentaron tres momentos de aplicación. Sin embargo es preciso recordar que el uso de fungicidas, momentos y dosis fueron utilizados en este experimento, únicamente como herramienta para generar gradientes entre parcelas contiguas y no para determinar la eficiencia específica de sus ingredientes activos, dosis o momento. Si se asume que los daños pueden ser estimados por comparación entre un tratamiento testigo sin aplicar y otros aplicados con fungicida, la disminución en el rendimiento causada por la MOR en este trabajo fue estimada entre 176 a 626 kg/ha (Figura 18) lo que representa una pérdida de entre 56 a 200 USD/ha (valor de referencia Tn soja 320 USD/Tn).

Daños semejantes fueron informados por Distéfano & Gadbán (2009b) donde en la evaluación de 24 cultivares de soja con y sin control químico con una mezcla de estrobilurina y triazol, se determinaron daños máximos de hasta 685 kg/ha. Estos daños y pérdidas, de gran magnitud para la economía argentina, representa la importancia que esta enfermedad puede significar en años donde se presenten epidemias.

Para este experimento, las funciones de daño resultantes de asociar el rendimiento con el número de lesiones en las fechas que correspondieron a los estados fenológicos R3, R4 y R5 resultaron con  $R^2$  que varió de 0,45 a 0,71 y todas con un valor  $p < 0,05$ , indicando una asociación lineal entre rendimiento y la severidad de la enfermedad.

El UDE para un valor de soja de 320 USD/Tn; costo de aplicación y fungicida de 25 USD/ha, una eficiencia de control del 70 % y un rendimiento potencial de 4 Tn/ha varió de acuerdo al estado fenológico y estrato considerado (Tabla 4). De modo general el estrato superior presenta un menor UDE al compararlo con el inferior, probablemente porque las hojas jóvenes que en general se encuentran en el estrato superior presentan mayor susceptibilidad a la MOR y el fungicida debería aplicarse un poco más temprano. Igualmente las diferencias entre UDE y entre estratos no son muy elevadas para asignarle significancia.

Considerando que para la eficiencia del control químico no se debe permitir que la enfermedad exceda el UDE, la aplicación debe ser hecha con anterioridad, debido a que tanto la implementación del control así como la acción del fungicida, demandan tiempo (Zadoks & Schein, 1979).

De acuerdo con Marinelli & March (2004) y March y colaboradores (2010), es importante destacar, que existe una curva epidémica verdadera y una visual. Esta última no incluye las infecciones durante el periodo de incubación (hasta la aparición de síntomas) mientras que la verdadera sí las considera. Por ello es importante considerar ambas curvas para determinar el UDE y el UDA. De esta manera el UDA debería incluir al menos un periodo de incubación siendo su valor inferior al UDE para evitar las aplicaciones tardías. Para determinar con precisión la duración del periodo de incubación debería llevarse a cabo investigaciones que permitan cuantificar la duración de ese periodo según genotipo, raza del patógeno y variabilidad ambiental. En este trabajo como el UDA siempre fue menor al UDE, se propuso a priori, un UDA

un 20 % inferior al UDE, basándose en experiencias previas en otros patosistemas (Carmona et al., 2008; 2009b, 2010b, 2012).

Al analizar todos los resultados obtenidos en la determinación de los umbrales, el máximo UDE alcanzado fue de 2,48 lesiones promedio por foliolo central siendo de 1,99 el valor correspondiente para el UDA. El menor valor fue de 1,15 y 0,92 para el UDE y UDA respectivamente (Tabla 4). En forma práctica, los valores de UDA constituyen la máxima cantidad de enfermedad tolerable económicamente antes de proceder a la aplicación de fungicidas. Estos valores parecerían resultar bajos para generar la recomendación de la aplicación química a campo, pero dado las características de la epidemia, los daños y pérdidas que causa la MOR probablemente sean adecuados para manejarla. El umbral de daño económico (UDE) nunca deberá ser excedido a lo largo del desarrollo del cultivo. En este caso, la aplicación de un producto fitosanitario encuentra justificación, debido a que sus beneficios superarán ampliamente los costos de su uso.

Los UDE y UDA no son fijos ni rígidos, éstos son variables dependiendo de las variaciones de los factores que lo originan (rendimiento potencial, precio de la soja, precio aplicación, eficiencia de control). Esta variabilidad es la que le otorga a los umbrales su utilidad y beneficio, debido a que frente a variaciones de cada año, lote o precios, es posible obtener un umbral que se corresponda con esa variación. Es además necesario destacar que los umbrales siempre están comprendidos dentro del período crítico de generación de rendimiento del hospedante (soja entre R3-R5), permitiendo la integración entre el fungicida, la vida del hospedante y los criterios epidemiológicos de control.

La determinación del momento de control ha sido estudiada en otros países (Akem, 1995), pero no mediante la generación de umbrales sino sobre la base del estado fenológico en el cual deberían hacerse las aplicaciones para obtener el mayor impacto en el aumento de rendimiento. Así por ejemplo, Akem (1995), determinó que las aplicaciones desde R1 hasta R3 inclusive reducen la severidad e impactan en el

rendimiento significativamente y por ello este autor recomienda iniciar las aplicaciones en cultivos susceptibles en R1 hasta R3. Estas diferencias en la recomendación merecen un profundo análisis. En este aspecto es importante mencionar que una de las aplicaciones más importantes de la epidemiología es predecir en cuanto se disminuyen los rendimientos (daños) por cada aumento de la enfermedad (severidad). Son estudios que involucran a la fenología pero sin que ella se transforme en el indicador del momento de la pulverización química.

Como la primera aplicación química en una enfermedad policíclica es decisiva y debe ser estratégicamente posicionada para proteger más eficientemente el cultivo y durante un período de campo más largo, la discusión de su momento, es de crucial importancia. Por ello la indicación del momento de uso de fungicidas basado en la fenología puede ser necesario, pero no suficiente, debido a que si es la fenología la que debe protagonizar la indicación del uso de fungicidas, podría suceder que las aplicaciones sean innecesarias (si es que la enfermedad no se presenta), generando no sólo impacto ambiental sino también una disminución del retorno económico y un aumento en la presión de selección hacia razas resistentes. También podría suceder que el momento de aplicación basado exclusivamente en la fenología no sea el correcto porque los niveles de enfermedad ya presentes sean altos, y por lo tanto la aplicación sea tardía sin lograr los resultados esperados. Por todo ello, el principio del UDE como indicador del inicio de las pulverizaciones, puede constituir la piedra fundamental del manejo integrado de enfermedades debido a que involucra tanto aspectos económicos, como epidemiológicos.

A modo de ejemplo, de acuerdo a la función de daño y (Rendimiento [Tn/ha]) =  $- 0.0452 x + 4.97$ , obtenida en este trabajo para el promedio de estratos foliares y en el estado fenológico R3, (Tabla 4) por cada lesión promedio en el foliolo central del tallo principal se produce una disminución de 45,2 kg/ha (0,0452 Tn/ha) en un rinde potencial de 4970 kg/ha (4,97 Tn), lo que representa aproximadamente una reducción de 9 kg/ha por cada lesión foliolar promedio y por cada tonelada de rendimiento

esperado (Función de daño expresado por Tn:  $y = \text{Rendimiento (Tn/ha)} = 1 - 0,009 X$ ) (Tabla 4).

Para el ejemplo mencionado arriba, un productor que espera 4 tn de rendimiento, con un costo de aplicación de 25 USD/ha y un valor de la tonelada de soja de 320 USD/tn, debería aplicar fungicida en cultivares susceptibles si su monitoreo arroja un valor de 1,20 lesiones promedio por foliolo central medido en todo el estrato foliar del cultivo. El resto de las aplicaciones, de ser necesarias, deben ser distribuidas racionalmente a lo largo del ciclo cada vez que se repita el UDA. Si ese valor no es alcanzado, la aplicación no debería realizarse recomendándose la continuación del monitoreo del cultivo.

Desafortunadamente son pocas las enfermedades donde se han desarrollado los umbrales para orientar la aplicación de fungicidas. Entre las dificultades para generar y adoptar umbrales de daño se pueden detallar las siguientes: 1) los umbrales necesitan ser obtenidos de información proveniente de experimentos de campo que a veces resultan complejos de ejecutar debido a que se deben lograr gradientes de enfermedad, 2) son pocos los datos confiables para estimar daños, o para cuantificar enfermedad, 3) los umbrales necesitan ser acompañados por un monitoreo minucioso y frecuente, 4) los umbrales son generalmente bajos, lo que ocasiona que el productor debe considerar una infraestructura y logística para ejecutar rápidamente los tratamientos.

En relación a la patología de semilla y el poder germinativo, los resultados no arrojaron diferencias significativas entre tratamientos. Era de esperarse que el testigo presentara un elevado porcentaje de infección en las semillas como correspondencia de su epidemia en el campo. Si bien su valor en términos absolutos fue mayor respecto a los tratamientos, el porcentaje de infección fue muy bajo. Esto se debió a que este patógeno a diferencia de otros como *Cercospora kikuchii*, *Phomopsis* spp, no genera elevados porcentajes de infección en la semilla. De acuerdo con Scandiani y colaboradores (2009b), en un estudio donde participaron 13 laboratorios analizando

muestras de semilla provenientes de lotes que presentaron epidemias de MOR, en un amplia zona de Argentina, la prevalencia promedio mostró que en el 50 % de las muestras analizadas no se detectó *C. sojina* en semillas. El 34% de las muestras presentó incidencias de semillas infectadas por *C. sojina* relativamente bajas, entre 0,5 a 3 %. En el 5 % de las muestras se determinaron incidencias intermedias, entre 3,5 y 5 %, mientras que en el 10 % restante, la incidencia fue superior a 5 %.

Los niveles bajos de infección de *C sojina* en semilla no afectaron los niveles de mortandad de las mismas y su poder germinativo. Es importante destacar que aún con bajos niveles de infección en semilla, un patógeno puede establecerse en una región, país o lote que antes no estaba presente y generar una epidemia. De manera general, si bien el hongo causante de MOR puede reducir la germinación de las semillas, ésta disminución comúnmente no ocurre por la localización en el tegumento (Singh & Sinclair 1985; Scandiani & Luque, 2009).

## CONCLUSIONES

Los resultados epidemiológicos obtenidos confirman que la MOR no debe ser considerada una clásica EFC debido a su comportamiento policíclico.

El número de lesiones por folíolo central cuantificado constituyó una variable objetiva, rápida, reproducible y sencilla para cuantificar epidemia.

El ensayo en gradiente de la MOR obtenido por dosis y numero de aplicaciones de una mezcla de estrobilurina más triazol, resultó útil para estudios epidemiológicos y para la obtención de las funciones de daño y los diferentes UDE.

**Agradecimientos:** a la Ing. Agr. Laura Gaido por su invaluable colaboración en el ensayo de campo; a la Dra. Mercedes Scandiani por su ayuda en los análisis de

semilla, a la Dra Alicia Luque (CEREMIC) por su colaboración en la caracterización de los aislamientos, a los Ing. Agr. Carlos Grosso y Pablo Ponzio de VMV Siembras por su asistencia técnica; a la empresa Bayer (Ings. Agrs. Earle Gastaldi, Luciano Lecumberri) por su apoyo técnico – económico.

### **BIBLIOGRAFÍA Capítulo III**

**Akem, C.N.** 1995. The effect of timing of fungicide applications on control of frog-eye leaf spot and grain yield of soybeans. *European Journal of Plant Pathology* 101: 183-187.

**Akem, C.N. & K.E. Dashiell.** 1994. Effect of planting date on severity of frog-eye leaf spot and grain yield of soybeans. *Crop Protection* 13(8): 607-610.

**Bernaux, P.** 1979. Identification of some soybean diseases in Cameroon. *Agronomie Tropicale* 34(3): 301-304.

**Campbell, C.L. & L.V. Madden.** 1990. *Introduction to Plant Disease Epidemiology*. Wiley, New York. 532pp.

**Carmona, M.A. & M.M. Scandiani.** 2009. Epidemias de la mancha ojo de rana en la región pampeana: caracterización y manejo. Resúmenes XVII Congreso de AAPRESID. AAPRESID, Rosario. pp. 225-228.

**Carmona, M., M. Quiroga, C. Diaz & P. Fernández.** 2008. Gradiente de la roya común de maíz (*Puccinia sorghi*): Su utilidad Para estimar daños y obtener el umbral de daño económico. Resúmenes Primer Congreso Argentino de Fitopatología. AAF, Córdoba. p. 162.

**Carmona, M.A., M.M. Scandiani & A. Luque.** 2009a. Severe Outbreaks of Soybean Frog-eye Leaf Spot Caused by *Cercospora sojina* in the Pampean region, Argentina. *Plant Dis.* 93(9): 966.

**Carmona, M., M. Quiroga, C. Diaz, P. Fernandez & F. Sautua.** 2009b. Control químico de la roya común del maíz (*Puccinia sorghi*): Criterio basado en el Umbral de Daño económico (UDE). *Tropical Plant Pathology* 34: S120.

**Carmona, M., N. Formento & M. Scandiani.** 2010a. Mancha ojo de rana. Ed. Horizonte A, Buenos Aires. 48 pp.

**Carmona, M., C. Díaz, O. Arce & F. Sautua.** 2010b. Progreso temporal de la roya común del maíz bajo la acción de trifloxistrobina más tebuconazole. Resúmenes IX Congreso Nacional de Maiz. AIANBA-MAIZAR, Rosario. pp. 177-179.

**Carmona, M., F. Sautua & E.M. Reis.** 2012. Sistemas de ayuda a la decisión de control químico en cultivos de trigo y cebada. En: Cereales de invierno: la investigación científico-técnica desarrollada por el INBA, CONICET-FAUBA, el BIOLAB Azul, CIC-PBA-FIBA-FAUNCPBA, la Facultad de Agronomía-UBA y la Facultad de Agronomía-UNCPBA. S.A. Stenglein., W. John Rogers , M. Carmona & R. Lavado (compiladores). Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Tandil. pp. 155-166.

**Casa, R.T., E.M. Reis & M.M. Casa Blue.** 2009. Criterio: Limiar de Dano Económico (LDE) e quantificação de danos. En: Criterios indicadores do momento para aplicação de fungicidas visando ao controle de doenças em soja e trigo. E.M. Reis (organizador). Aldeia Norte Editora, Passo Fundo, RS, Brasil. pp: 66-78.

**Cruz, C.D. & A.E. Dorrance.** 2009. Characterization and survival of *Cercospora sojina* in Ohio. Plant Health 2009. Plant Management Network (online).

**Dashiell, K.E. & C.N. Akem.** 1991. Yield losses in soybeans from frog-eye leaf spot caused by *Cercospora sojina*. Crop Protection 10: 465-468.

**Díaz, C., G. Adala, N. David & M. Carmona.** 2012. Análisis de correspondencias múltiples para la cuantificación de la “mancha ojo de rana” utilizando diferentes variables de medición. Proceedings of X Congreso Latinoamericano de Sociedades de Estadística. CLATSE, Córdoba. pp 58-59.

**Distéfano, S.G. & L.C. Gadbán.** 2009a. Prevalencia de “mancha ojo de rana” (agente causal: *Cercospora sojina* Hara) en los departamentos Unión y Marcos Juárez, provincia de Córdoba, durante la campaña de soja 2008/2009. Resúmenes XIII Jornadas Fitosanitarias Argentinas. AAF, Río Hondo. E032.

**Distéfano, S.G. & L.C. Gadbán.** 2009b. Estimación de pérdidas de rendimiento causadas por la “mancha ojo de rana” en diferentes cultivares de soja. Resúmenes XIII Jornadas Fitosanitarias Argentinas. AAF, Río Hondo. E031.

- Distéfano, S.G. & L.C. Gadbán.** 2009c Diseño de escala y evaluación de la reacción de cultivares de soja a “mancha ojo de rana” (*Cercospora sojina* Hara). Resúmenes XIII Jornadas Fitosanitarias Argentinas, 30-09 al 02-10-09, Río Hondo, Santiago del Estero. E113.
- Fehr, W.R. & C.E. Caviness.** 1977. Stages of soybean development. Iowa St. Univ. Special Report 80: 11.
- Formento, A.N. & I. Vicentin.** 2005. Primera detección de Mancha Ojo de Rana (*Cercospora sojina*) de soja en Entre Ríos. Disponible en: [http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion\\_vegetal/soja/enfermedades/20320\\_051031\\_prim.htm](http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion_vegetal/soja/enfermedades/20320_051031_prim.htm). Ultimo acceso: Setiembre de 2012
- Formento, A.N. J. de Souza & F. Zanotti.** 2009. Comportamiento de cultivares de soja a mancha ojo de rana (*Cercospora sojina*) en Entre Ríos. Ciclo agrícola 2008/09. INTA-EEA Paraná. Actualización Técnica Soja. Serie Extensión 56: 46-49.
- Kuehl, R.** 2001. Diseños con mediciones repetidas. En: Diseño de experimentos, principios estadísticos para el diseño y análisis de investigaciones. (2a. ed.) Thomson Learning, México D. F. pp. 492-519.
- Lavolette, F.A., K.L. Athow, A.H. Probst, J.R. Wilcox & T.S. Abney.** 1970. Effect of bacterial pustule and frog-eye leaf spot on yield of Clark soybean. Crop Science 10: 418–419.
- Ma, G.Z.** 1994. Review and forecast of study on frog-eye leaf spot. Soybean J. 1: 6-7.
- Machado, J.C., J.A. Oliveira, M.G. Vieira & M.C. Alves.** 2003. Controle da germinação de sementes de soja em testes de sanidade pelo uso da restrição hídrica. Revista Brasileira de Sementes 25(2): 77-81.
- March, G., C. Oddino & A. Marinelli.** 2010. Manejo de enfermedades de los cultivos según parámetros epidemiológicos. INTA-UNRC, Córdoba. 193 pp.
- Marinelli, A.D. & G.J. March.** 2004. Viruela. En: Enfermedades del maní en Argentina. March G.J. & A.D. Marinelli, Eds. Biglia Impresores, Córdoba. pp. 13-19.

- Maumary, R., L. Herzog, G. Toffoli, F. Pividori, G. Schlie & J. Bernau.** 2009. *Cercospora sojina*: importante avance epidemiológico en la región centro norte de Santa Fe. Campaña 2008-2009. Resúmenes XIII Jornadas Fitosanitarias Argentinas. AAF, Río Hondo. E066.
- Mian, M.A., A.M. Missaoui, D.R. Walker, D.V. Phillips & H.R. Boerma.** 2008. Frogeye leaf spot of soybean: A review and proposed race designations for isolates of *Cercospora sojina* Hara. Crop Science 48: 14-24.
- Mian, M.A.R., H.R. Boerma, D.V. Phillips, M.M. Kenty, G. Shannon, E.R. Shipe, A.R. Soffes Blount & D.B. Weaver.** 1998. Performance of frogeye leaf spot resistant and susceptible near-isolines of soybean. Plant Disease 82: 1017-1021.
- Munford, J.D. & G.A. Norton.** 1984. Economics of decision making in pest management. Annual Review Entomology 29: 157-174.
- Mwase W.F. & R.G. Kapooria.** 2000. Incidence and severity of frogeye leaf spot and associated yield losses in soybeans in agroecological zone II of Zambia. Mycopathologia 149: 73-78.
- Phillips D.V.** 1999. Frogeye leaf spot. En: Compendium of Soybean Diseases. 4th ed. Hartman G.L., J.B. Sinclair & J.C. Rupe. APS Press, St. Paul, MN. pp. 20-21.
- Ploper, L.D., V. González, R. Gálvez & M. Devani.** 2000. La Mancha Ojo de Rana. Otra Enfermedad Limitante del Cultivo de Soja. EEAOC Avance Agroindustrial 21(2): 9-12.
- Reis, E.M., M. Carmona & A. Bresolin.** 2012. Técnicas de amostragem de lavouras e determinações patométricas. Seminario Técnico Internacional manejo de enfermedades en cereales de invierno y cultivos de verano: Criterios para el uso de fungicidas en trigo cebada y soja. Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Paysandú. pp. 49-56.

**Scandiani, M.M. & M.A. Carmona.** 2009. La semilla de Soja puede ser fuente de inóculo de la mancha ojo de rana. Avances en el desarrollo de métodos para su detección en semilla y recomendaciones para la próxima campaña. Revista Análisis de Semilla 3 (1, 9): 22-25.

**Scandiani, M.M. & A.G. Luque.** 2009. Identificación de Patógenos en Semilla de Soja. Análisis de Semillas Supl. Especial N°2: 51-52.

**Scandiani, M.M., M. Ferri, M. Carmona, D.S. Ruberti, A. Luque & M. Tartabini.** 2009a. Presencia de *Cercospora sojina* Hara en semillas de soja. Métodos para su detección. Proceedings of XIII Jornadas Fitosanitarias Argentinas. AAF, Río Hondo. pp. 45

**Scandiani, M.M. A.G. Luque, M.A. Carmona, A.N. Formento, J. De Souza, K. Ascitutto, M.E. Rosenzvaig, A. Celotto, C. Carracedo, M. Souilla, M. Tommasi, R. Elizalde, A. Grub, E. Firpo, R. Piccone, R. Sola, M. Sarmiento, A. Petinari, F. Pacios, V. Martínez & M.C. Pablo.** 2009 b. Determinación de *Cercospora sojina* en semilla de soja: Evaluación de sanidad de semillas inter-laboratorios. Análisis de semillas 3(11): 96-98.

**Scandiani, M.M., B. Ferrari, N. Formento, A. Luque, M. Carmona, M. Tartabini & M. Ferri.** 2010. Evaluación de la resistencia y susceptibilidad de genotipos de soja (*Glycine max*) a la mancha ojo de rana (*Cercospora sojina*). Análisis de Semillas 4 (14): 67-72.

**Scandiani, M., M. Ferri, B. Ferrari, N. Formento, M. Carmona, A. Luque & P. Balatti.** 2012. First Report of races 11 and 12 of *Cercospora sojina*, the causal agent of Soybean Frogeye Leaf Spot, in Argentina. Plant Disease 96 (7): 1067.

**Sinclair, J.B. & P.A. Backman** (eds.). 1989. Frogeye leaf spot. En: Compendium of soybean diseases (3rd edition). Sinclair J.B. & M.C. Shurtleff, Eds. American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, USA. pp. 19–24.

**Singh, T. & J.B. Sinclair.** 1985. Histopathology of *Cercospora sojina* in soybean seeds. Phytopathology 75: 185-189.

**Van Der Plank, J.E.** 1963. Plant Diseases: epidemics and control. Academic Press, New York. 349 pp.

**Wrather, J.A., T.R. Anderson, D.M. Arsyad, J. Gai, L.D. Ploper, A. Porta-Puglia, H.H. Ram & J.T. Yorinori.** 1997. Soybean Disease Loss Estimates for the Top 10 Soybean Producing Countries in 1994. Plant Disease 81: 107-110.

**Yorinori, J.T.** 1989. Frogeye Leaf Spot of Soybean (*Cercospora sojina* Hara). Proceedings of IV Conferencia Mundial de Investigación en Soja. AASOJA, Buenos Aires. pp. 1275-1283.

**Zadoks, J.C & R.D. Schein.** 1979. Epidemiology and plant disease Management. Oxford University Press, New York. 427 pp.

## CONSIDERACIONES FINALES

En este trabajo se demostró la complejidad en el abordaje del estudio de las enfermedades foliares de fin de ciclo y la MOR, cuando el objetivo fue generar criterios de manejo químico con fungicidas que aseguren no sólo el retorno económico, sino también la sustentabilidad.

Para el caso de las EFC, los resultados demostraron que la respuesta al uso de fungicidas (kg/ha) dependió de la ocurrencia de lluvias entre R3-R5 (Fehr & Caviness, 1977) y no de las que ocurrieron entre R1-R3, por lo tanto dependiendo de las condiciones ambientales, la aplicación de fungicida podría realizarse en R3, R4 o R5, aceptando parcialmente la Hipótesis 1 que indicaba la asociación de la respuesta del control químico con las lluvias de R3 a R5.

Una vez que se logró identificar la variable climática y el período fenológico que estadísticamente mejor se asociaron con el impacto en los rendimientos por el uso de fungicidas, la siguiente etapa fue la de desarrollar un sistema de puntuación basado en la ponderación de diferentes factores ambientales y agronómicos. Dicho sistema contó con la elección de 10 factores de valoración relativa y permitió proponer una herramienta fácil, práctica y dinámica para orientar la decisión química y el beneficio económico, confirmando la aceptación de la Hipótesis 2. Los ensayos de validación del sistema de decisión llevados a cabo en diferentes localidades y campañas agrícolas diferentes, permitieron analizar el impacto en el rendimiento agronómico y en la rentabilidad lograda, cuando se utilizó el sistema de puntuación en comparación con las aplicaciones fenológicas fijas de R3, R5 y con un testigo sin aplicación química. De esta manera, cuando el sistema recomendó no aplicar, los rendimientos que fueron obtenidos en los tratamientos de R3 y R5 no se diferenciaron de los del testigo, indicando que no se justificaba aplicar. Por otro lado se demostró que algunos ensayos mostraron mayor impacto por el uso de fungicidas cuando se realizaron las aplicaciones en R3 ó R4 ó R5 y que su decisión final dependió de la puntuación

arrojada por el sistema en cada ensayo, demostrando que la guía de aplicación regida por fenología rígida y estricta, no resulta en una alternativa técnica fundamentada para orientar el momento de la pulverización. De manera general, la validación del sistema en diferentes años y regiones mostró que las recomendaciones propuestas siempre generaron los mayores rendimientos y márgenes netos, independientemente de la localidad y año considerado, lo que confirmó la aceptación de la Hipótesis 3.

Para el estudio de la MOR, se lograron estimar los daños y generar recomendaciones para su manejo mediante umbrales de control. El número de lesiones promedio por folíolo central constituyó una variable, objetiva, rápida y sencilla para cuantificar la epidemia y desarrollar los diferentes UDE confirmando la hipótesis 4. De esta manera los resultados epidemiológicos obtenidos indican que la MOR no debe ser considerada una clásica EFC debido a su comportamiento policíclico. Para diferentes estadios reproductivos de la soja y para cada estrato foliar considerado se propusieron umbrales de daño móviles que serán de utilidad para enmarcar el uso de fungicidas dentro de un programa de manejo Integrado.

Finalmente, tanto para las EFC como para la MOR, los resultados obtenidos en este trabajo podrán ser útiles para la elaboración de programas informáticos de simple aplicación, que combinen el sistema de puntuación, umbrales, variables económicas y pronósticos climáticos para mejorar aún más la certidumbre del momento de control químico validando los datos aquí obtenidos o generando nuevos modelos de decisión.

## ANEXO: PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA TESIS

### Publicaciones en revistas científicas con referato

**Carmona, M.; Gally, M.; Sautua, F., Abello, A. & Lopez, P.** 2011 Uso de mezclas de azoxistrobina y triazoles para el control de las enfermedades de fin de ciclo en el cultivo de soja”, de los autores Summa Phytopathologica, v.37, n.2, p.134-139- (Indexado ISI)

**Carmona, M.; Sautua, F., Perelman, S.: Reis, E. & Gally, M.** 2011 Relationship between Late Soybean Diseases Complex and rain in determining grain yield responses to fungicide applications. Journal of Phytopathology 159: 687–693. (indexado ISI)

**Carmona, M. 2011.** Damages caused by frogeye leaf spot and late season disease in soybean in Argentina and control criteria. Tropical Plant Pathology vol. 36 1356-1358. (indexado ISI)

### Capítulos de libros

**Carmona, M. 2013.** Sistema de pontuacao auxiliar indicador do momento para aplicacao de fungicidas no controle de doencas de final de ciclo na cultura da soja. Capitulo 11, pags 133-157 Indcadores do momento para aplicacao de fungicidas visando ao controle de doencas nas culturas da soja e do trigo 2da edicao revista e ampliada Compilador, E. M. Reis Ed Berther Passo Fundo, Brasil, 246 pp.

**Kantolic, A. & Carmona, M.** 2012. Bases ecofisiológicas para a geração do rendimento: relação com o efeito de doenças foliares e com o uso de fungicidas em soja Capítulo 1; 12-54 pp En: Doenças da soja 436 p E. M. Reis & R. T. Casa Editores ISBN 978-85-7912-082-4. (en português)

**Carmona, M. & Reis, E.** 2012 Sistema de pontuação auxiliar na tomada de decisão para a aplicação de fungicidas visando ao controle das doenças de final de ciclo. Capítulo 7; 333-347 pp En: Doenças da soja 436 p E. M. Reis & R. T. Casa Editores ISBN 978-85-7912-082-4. (en português)

**Carmona, M.; Gaido, L.; Sautua, F.; Mónaco, C. & Reis, E. M.** 2012 Manejo Químico de la Mancha Ojo de Rana (MOR) Mediante el Umbral de Daño Económico y de Acción (UDE, UDA) Capítulo 18; 333-338 pp; En: El cultivo de soja en Argentina Héctor Baigorri y Luis Salado Navarro (Eds), 400 p. ISBN 978-987-27584-1-7

**Carmona, M.; Sautua, F.; Gally, M. & Reis, E. M.** 2012. Enfermedades de Fin de Ciclo (EFC) de la Soja: Sistema de Toma de Decisión para la Aplicación de Fungicidas Capítulo 19; 339- 346 pp En: El cultivo de soja en Argentina Héctor Baigorri y Luis Salado Navarro (Eds), 400 p. ISBN 978-987-27584-1-7

**Carmona, M.; Sautua, F.; Perelman, S, Reis, E. & Gally, M.** 2011. Soja: Investigación científico-técnica desarrollada en el INBA /CONICET/FAUBA) y en la Facultad de Agronomía UBA , 206 p. Diciembre de 2011, Editores: Correa, O.; De la Fuente Elba, Carmona, M; Kantolic, A. y Lavado, Raúl, Editorial Facultad de Agronomía Uso de precipitaciones para predecir el daño de las EFC en soja y estimar el uso de fungicidas para su control 169-173 pp.

### **Resúmenes publicados en congresos/seminarios nacionales**

**Carmona, M. & Sautua, F.** 2012 Sistemas informáticos de apoyo para la decisión del uso sustentable de fungicidas para el manejo de enfermedades en cultivos extensivos Seleccionado para la exposición INNOVAR 2012 (Concurso nacional de innovaciones) 26 al 30 de setiembre de 2012, Tecnópolis

### **Resúmenes en congresos/seminarios internacionales**

**Carmona, M.; Sautua F.; Gally, M.; Mónaco, C. & Reis, E. M.** 2013 Sustainable chemical control of frogeye leaf spot and late season diseases of soybean in Argentina Abstract 228: World Soybean Research Conference 2013 - Durban South Africa February 17-22, 2013.

**Formento, N.; Carmona, M; Schutt, L.; Sautua, F. & Scandiani,. M.** 2013 Optimal timing applications of fungicides for late season diseases (LSD) in soybean (Glycine max): validation of a decision support system Abstract 228: World Soybean Research Conference 2013 - Durban South Africa February 17-22, 2013.

**Carmona, M. & Reis, E. M.** 2012 Impacto de la aplicación de fungicidas sobre el desarrollo de epidemias. 17-19 pp Seminario Técnico Internacional manejo de enfermedades en cereales de invierno y cultivos de verano Criterios para el uso de fungicidas en trigo cebada y Soja 13 de julio 2012 Paysandú, Uruguay, ISB 978-9974-0-0852-6 Ed Hemisferio Sur, Organizador: Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Paysandú Uruguay

**Carmona, M.; Sautua, F.; Monaco, C. & Reis, E. M.** 2012. Criterios para la toma de decisión de fungicidas en soja. 41-44 pp Seminario Técnico Internacional manejo de enfermedades en cereales de invierno y cultivos de verano Criterios para el uso de

fungicidas en trigo cebada y Soja 13 de julio 2012 Paysandú, Uruguay, ISB 978-9974-0-0852-6 Ed. Hemisferio Sur, Organizador: Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Paysandú Uruguay

**Carmona, M.; Sautua, F. & Reis, E.** 2011. Capítulo: Criterios para el manejo químico de las enfermedades de fin de ciclo (EFC) en el cultivo de soja. Presentación de un sistema de decisión II SIMPOSIO NACIONAL DE AGRICULTURA, FAGRO - GTI Agricultura y IPNI Cono Sur, pp 70-88; 29 y 30 de setiembre de 2011 Paysandu, Uruguay Ed Universidad de la República, Montevideo, Uruguay – Hemisferio Sur ISBN 978-9974-0-0781-9

**Carmona, M.** 2011 Decision support systems for the chemical control of late Seaton diseases and frog-eye leaf spot of soybean: how to be sustainable and profitable when using fungicides to manage foliar soybean diseases. 5° Congreso de la Soja del MERCOSUR, MERCOSOJA 2011, organizado por la Asociación de la Cadena de la Soja Argentina ACSOJA, 1-3 pp, 14 al 16 de septiembre de 2011, Rosario

**Formento, N.; Luque, A.; Ferrari, B., Ferri, M., Carmona, M. Lo Piccolo, Tartabini, M. P. Balatti, P. & Scandiani, M.** 2011. Avances en el conocimiento de *Cercospora sojina*, hongo causal de la mancha ojo de rana de la soja, 5° Congreso de la Soja del MERCOSUR, MERCOSOJA 2011, organizado por la Asociación de la Cadena de la Soja Argentina ACSOJA, 20-23 pp, 14 al 16 de septiembre de 2011, Rosario