



EVOLUCIÓN DE LAS ENFERMEDADES DE LA SOJA EN LA ARGENTINA: PASADO, Y PRESENTE. APORTES DE LA FAUBA AL MANEJO INTEGRADO

Marcelo A. Carmona*; M.E. Gally; P.E. Grijalba y F.J. Sautua¹

Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Avda. San Martín 4453, CABA

*carmonam@agro.uba.ar

Recibido: 12-03-15

Aceptado: 31-05-15

RESUMEN

En los inicios del cultivo de soja y hasta hace aproximadamente 20 años, la pudrición húmeda del tallo (PHT) causada por *Sclerotinia sclerotiorum*, fue la enfermedad más importante de este cultivo en la Argentina. La acción antrópica ha impactado en los agroecosistemas a medida que el cultivo fue expandiendo su frontera agrícola, causando un cambio sustancial en la prevalencia, frecuencia e intensidad de las enfermedades. De esta manera, las enfermedades llamadas de fin de ciclo (EFC), la mancha ojo de rana (MOR) y las pudriciones de raíz y tallo se han convertido en el presente en las más importantes, relacionadas principalmente con el sistema de producción bajo siembra directa y el monocultivo. Este trabajo presenta una reseña de la evolución de las enfermedades de la soja en la Argentina y de los aportes que la Cátedra de Fitopatología de la FAUBA ha realizado para el manejo integrado de las mismas.

Palabras clave. *Glycine max*, Cátedra de Fitopatología, enfermedades foliares, pudriciones de raíz y tallo.

EVOLUTION OF SOYBEAN DISEASES IN ARGENTINA: PAST AND PRESENT. CONTRIBUTIONS OF FAUBA TO THE INTEGRATED MANAGEMENT OF PLANT DISEASES.

SUMMARY

From the beginning of soybean cultivation and until about 20 years ago, *Sclerotinia* pod and stem rot was the most important disease of the crop in Argentina. Since then, in order to expand agricultural frontier and improve soil conservation using no till techniques but combined with soybean monoculture, human intervention impacted in agro-ecosystems causing a substantial change in prevalence, frequency and intensity of diseases. Thus, late season diseases, frog eye spot and root and stem rot have become at present the most damaging pathologies. This paper presents an overview of the evolution of soybean diseases in Argentina and the research contribution made in Plant Pathology in FAUBA.

Key words. *Glycine max*, Plant Pathology FAUBA, foliar diseases, root and stem rots.

PRINCIPALES ENFERMEDADES ACTUALES EN EL CULTIVO DE SOJA

En los inicios del cultivo de soja en la Argentina y hasta hace aproximadamente 20 años, la pudrición húmeda del tallo (PHT) causada por *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary fue la enfermedad más importante de este cultivo (Ploper, 2004). El carácter polífago del patógeno y la presencia de inóculo previo proveniente de los cultivos de girasol fueron los factores determinantes de esa situación. La acción antrópica ha impactado en los agroecosistemas a medida que el cultivo de soja fue expandiendo su frontera agrícola, así el advenimiento de los genotipos transgénicos resistentes al glifosato, el cambio climático y el monocultivo de soja bajo siembra directa (SD) favorecieron el desarrollo epidémico especialmente de enfermedades causadas por patógenos necrótrofos que afectan a este cultivo (Carmona *et al.*, 2015a). En el Cuadro 1 se detallan las enfermedades y su etiología, cuyos niveles de prevalencia e intensidad aumentaron en los últimos 20 años en la Argentina. Las enfermedades de fin de ciclo (EFC), la mancha ojo de rana (MOR) y las pudriciones de raíz y tallo han sido las más importantes, relacionadas principalmente con el cambio de la producción bajo SD y monocultivo.

Este escenario productivo generó una situación sanitaria gobernada por las EFC, las cuales son endémicas en todas las zonas productivas argentinas. Este complejo de enfermedades, que afectan tanto el número y peso de los granos como así también la calidad de las semillas, tiene una serie de características particulares (Carmona *et al.*, 2011a,b): 1) la mayoría de ellas presentan períodos de incubación y latencia largos, es decir puede haber infecciones cuya sintomatología demora en manifestarse, 2) como consecuencia de lo anterior hay un aumento de severidad hacia el final del ciclo, que incluso se puede confundir con la senescencia natural, pudiendo pasar desapercibidas, lo que dificulta la toma de decisiones de control químico, 3) la mayoría de sus agentes causales son patógenos necrótrofos y sobreviven en semilla y rastrojo, y 4) los

patógenos que las causan, a excepción de *Cercospora kikuchii*, presentan fructificaciones hidrofílicas, que necesitan del agua para la liberación, remoción, diseminación 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 lo tanto, las precipitaciones son una importante variable que influye en la epidemiología de estas enfermedades (Carmona *et al.*, 2010a, 2011a,b). De entre todos los agentes etiológicos de este complejo, *Septoria glycines* y *Cercospora kikuchii* se consideran los más importantes en cuanto a su prevalencia, incidencia y severidad. 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 3% (Carmona *et al.*, 2010a).

A este nuevo escenario se agregó además la intempestiva aparición de la MOR, causada por el hongo *Cercospora sojina*, que emergió como una de las enfermedades más importantes de la historia de la soja argentina (1998/99 en el NOA y 2008/09 en la región pampeana) (Carmona *et al.*, 2009a; 2010b). Por otro lado, si bien la roya asiática ocurre todos los años en algunas provincias del NEA y NOA, su ocurrencia es tardía y poco severa, siendo la magnitud de sus daños y pérdidas poco significativa al compararla con lo que sucede en otros países, por ejemplo en Bolivia, Brasil, y Paraguay (Yorinori *et al.*, 2005). A diferencia de lo que sucede en esos países, donde la RAS es la principal enfermedad que orienta el control químico, en la Argentina las EFC y desde 2009 también la MOR, causadas por hongos necrótrofos, son las enfermedades que suelen controlarse con productos químicos y determinaron un significativo aumento en el uso de fungicidas en el cultivo de soja en los últimos 10 años (Carmona, 2011).

Cuadro 1. Algunas de las enfermedades de la soja y sus respectivos agentes etiológicos que tuvieron un crecimiento significativo de prevalencia e intensidad en los últimos 20 años en la Argentina.

Pudrición carbonosa del tallo	<i>Macrophomina phaseolina</i> (Tassi) Goidanish
Muerte Súbita	Causada en la Argentina por cuatro agentes causales: <i>F. virguliforme</i> O'Donnell & T. Aoki, <i>Fusarium tucumanae</i> T. Aoki, O'Donnell, Yos. Homma & Lattanzi, <i>F. brasiliense</i> T. Aoki & O'Donnell (Aoki <i>et al.</i> , 2003) y <i>Fusarium crassispitatum</i> Scandiani, T. Aoki & O'Donnell, sp. nov. (Aoki <i>et al.</i> , 2005, 2011), siendo la principal por su prevalencia <i>F. tucumanae</i> , seguido por <i>F. virguliforme</i> .
Cancro del tallo	a) Cancro meridionalis <i>Diaporthe aspalathi</i> Janse van Rensburg, Castlebury & Crous, nom. et. stat. nov. (Mycobank MB500803), van Rensburg <i>et al.</i> , 2006, denominado anteriormente como <i>Diaporthe phaseolorum</i> var. <i>meridionalis</i> Fernandez, b) Cancro caulivora <i>Diaporthe caulivora</i> (Athow & Caldwell) J.M. Santos, Vrandecic & A.J.L. Philips, comb - stat.nov. (Mycobank MB518520) (Santos <i>et al.</i> , 2011), conocido como <i>Diaporthe phaseolorum</i> var. <i>caulivora</i> K.L. Athow & R.M. Caldwell.
Pudriciones de raíz y tallo	<i>Phytophthora sojae</i> Kauffmann & Gerdemann; <i>Pythium</i> spp.
Pudrición parda de la médula	<i>Cadophora gregata</i> (Allington & D.W. Chamb.) T.C. Harr. & McNew 2003 Sinónimos: <i>Phialophora gregata</i> y <i>Cephalosporium gregatum</i> .
Tizón de plántulas	En la zona núcleo los patógenos más frecuentemente aislados de plántulas afectadas son ("hongos de suelo"): <i>Rhizoctonia solani</i> Kuhn, <i>Sclerotium rolfsii</i> (Sacc.) West, <i>Pythium</i> spp., <i>Phytophthora sojae</i> , <i>F. solani</i> , <i>F. equisetij</i> , <i>F. Oxysporum</i> , <i>Fusarium</i> spp. También pueden causar tizón, los hongos que se transmiten por semillas: el complejo <i>Diaporthe/Phomopsis</i> spp., <i>Cercospora</i> , <i>Colletotrichum</i> .
Enfermedades de Fin de Ciclo Tizón de la hoja y mancha púrpura de la semillas	<i>Cercospora kikuchii</i> (T. Matsu & Tomoyasu) Gardner.
Mancha marrón	<i>Septoria glycines</i> Hemmi.
Tizón de la vaina y tallo	<i>Phomopsis</i> spp.
Antracnosis	<i>Glomerella glycines</i> (Hori) Lehman & Wolf; <i>Colletotrichum truncatum</i> (Schw.) Andrews & WD Moore; <i>Colletotrichum</i> spp.
Tizón bacteriano	<i>Pseudomonas siringae</i> pv <i>glycinea</i> (Coerper) Young, Dye & Wilkie.
Pústula bacteriana	<i>Xanthomonas campestris</i> pv <i>glycines</i> (Nakano) Dye.
Mancha Ojo de Rana (MOR)	<i>Cercospora sojina</i> Hara.
Mancha Anillada	<i>Corynespora cassiicola</i> (Berk. & Curt.)

Siembra directa, monocultivo y enfermedades

Las labranzas influyen directamente sobre la supervivencia de la mayoría de los patógenos, principalmente a través del volumen, ubicación y tasa de descomposición de los residuos culturales, que constituyen el sustrato de muchos de ellos. Además, influyen sobre la población de plantas guachas, la microbiota del suelo y el micro-ambiente dentro del canopeo del cultivo, todo lo cual afecta la susceptibilidad del cultivo y pro-

mueve el desarrollo de epidemias en algunos patosistemas (Reis y Carmona, 2006).

Las prácticas de mínima o nula remoción de los rastrojos, como ocurre bajo SD, favorecen la capacidad de supervivencia y el aumento de la densidad de inóculo de los patógenos necrótrofos. La práctica de la rotación de cultivos al permitir la mineralización total o parcial de los residuos, incide sobre la fase de supervivencia de los patógenos, disminuyendo la cantidad de inóculo y

por consiguiente la intensidad de la enfermedad en el cultivo a implantar. Por el contrario, la acumulación y permanencia de restos culturales provenientes de un cultivo enfermo implican también la acumulación de propágulos de patógenos necrotróficos. De lo antedicho se deduce la importancia de la rotación con cultivos no susceptibles, ya que al mineralizarse los restos culturales se eliminan los patógenos capaces de desarrollar en ellos. Las rotaciones de cultivos deberían ser actualmente el eje fundamental para el manejo de este tipo de enfermedades. Cuanto mayor sea la especificidad de los patógenos y menor su capacidad de dispersión por el viento, mayor será la eficiencia de la rotación en el control de las enfermedades. Erróneamente se considera a la SD como un sistema promotor de enfermedades, cuando es la falta de rotación la promotora de epidemias y no la SD en sí misma.

En el caso de los patógenos biótrofos, si bien la densidad de inóculo no aumenta con la presencia de los rastrojos provenientes de cultivos enfermos, la cantidad de propágulos presentes en los tejidos muertos es mayor que en ausencia del rastrojo, y a su vez están más protegidos por el tejido muerto que si estuvieran libres (por ejemplo oosporas de *Peronospora manshurica* causante de mildiu). Además, el incremento de las poblaciones de plantas guachas bajo SD, en las que son capaces de seguir desarrollando estos patógenos, incrementa los niveles de inóculo.

¿Por qué el monocultivo aumenta la intensidad de los daños producidos por necrotróficos? Porque reintroduce cada seis meses el sustrato preferencial (planta cultivada) para su multiplicación. Desde el punto de vista fitotécnico, la rotación de cultivos constituye una alternancia regular de diferentes cultivos en una misma área. Esa combinación debe ser efectuada de acuerdo con un planeamiento adecuado, en el cual deben ser considerados diversos factores, entre ellos el cultivo predominante de la región en torno de la cual será programada la rotación, además de los factores del ambiente que influirán en los cultivos

seleccionados para que integren el sistema (Santos *et al.*, 1983). Según Derpsch (1985), la rotación de cultivos puede ser definida como una alternancia ordenada de diferentes cultivos, en un espacio de tiempo, en un mismo campo, obedeciendo a finalidades definidas, donde una especie vegetal no es repetida en el mismo lugar con un intervalo menor de dos y si fuera posible tres o más años.

Por otro lado, desde el punto de vista fitopatológico, la rotación de cultivos consiste en la siembra de una misma especie vegetal en un mismo campo, en una misma estación de cultivo, donde los restos culturales del cultivo anterior fueron eliminados biológicamente. En esta situación, el rastrojo fue eliminado por la acción de descomposición de los microorganismos del suelo; es decir, fueron biológicamente degradados de tal manera que el inóculo fue eliminado o mantenido por debajo del umbral numérico de infección. Contrariamente, el monocultivo consiste en el cultivo de la misma especie vegetal, en el mismo campo, donde están sus propios restos culturales (Reis y Carmona, 2006). Frecuentemente se confunde el significado de los términos **sucesión** y **rotación** de cultivos. Conceptualmente, la sucesión de cultivos es una secuencia preestablecida de cultivos dentro de un mismo año o campaña agrícola. El cultivo de trigo, por ejemplo, después de la soja, a lo largo de dos años es considerado como una sucesión de cultivos y no como una rotación. Sin embargo, este sistema es en realidad la sucesión del monocultivo de trigo en invierno y el monocultivo de soja en el verano (Reis y Carmona, 2006).

La obtención de variedades resistentes a agentes necrótrofos que causan pudriciones de raíz, manchas foliares, tizones y antracnosis, ha sido difícil, y en muy pocos casos, como por ejemplo la mancha en ojo de rana, se ha logrado exitosamente. Por esta razón la rotación es una práctica fundamental e indispensable para realizar un manejo integrado de enfermedades del cultivo de soja. Además de los beneficios que otorga la

rotación para el manejo de enfermedades, esta técnica favorece también otros aspectos relacionados con la conservación del suelo, la productividad de los cultivos y la diversificación empresarial de riesgos. El principio básico de la rotación de cultivos es la eliminación de la fuente energética y nutricional de los patógenos (restos culturales) a través de su mineralización y descomposición, llevada a cabo por microorganismos del suelo que compiten con los patógenos por el mismo sustrato. Luego de la completa mineralización de los rastrojos, no habrá sustrato y el patógeno no podrá seguir desarrollando, y no podrá sobrevivir si no es capaz de formar estructuras o esporas de resistencia.

Esta medida debería ser acompañada por el tratamiento eficaz de las semillas, de lo contrario, los efectos benéficos de la rotación podrían anularse por permitir la introducción del patógeno a través de la semilla. **En un sistema productivo bajo SD la implementación de ambas medidas (rotación + tratamiento eficiente de semillas) deberían ser consideradas obligatorias.**

Debido a todas estas consideraciones, se establece la clara necesidad de implementar el manejo integrado de enfermedades (MIE), con la práctica de la rotación de cultivos como un pilar fundamental del mismo. Comprendiendo al MIE como un proceso continuo de decisión que asegura la sustentabilidad, se podrá capitalizar los beneficios aceptando que las medidas sanitarias no deben ser nunca consideradas antinómicas ni divergentes, sino por el contrario, complementarias. De esta manera, la aplicación racional de fungicidas (Carmona *et al.*, 2015a,b), la resistencia genética de las variedades de soja y las prácticas culturales deben ser usadas de manera integrada.

El caso de las pudriciones de raíz y tallo

Existe una creciente preocupación por microorganismos de suelo (MS) patógenos de plantas. La SD dejó por años un suelo casi imperturbado,

con sus múltiples interacciones casi desconocidas. Por esta razón se ha sugerido al suelo como una “caja negra” por descifrar, ya que constituye un medio ambiente mucho más complejo que el ambiente aéreo, principalmente debido a las múltiples interacciones de tres componentes bióticos: **el hospedante, el patógeno y la flora microbiana**. Todos ellos son influenciados por el componente abiótico del suelo mismo. En cuanto al hospedante (cultivo), debe ser susceptible y además es muy importante su estado fenológico o de desarrollo: Por ejemplo, algunos Oomycetes como *Pythium* solamente atacan semillas o plántulas jóvenes mientras que otros como *Phytophthora* sp. son capaces de infectar también a plantas adultas. Existen dos categorías de patógenos causantes de pudriciones radiculares y de tallos: los habitantes de suelo, de alta capacidad saprofítica, presentes en casi todos los suelos y los invasores de suelos, de baja capacidad saprofítica, presentes en algunos tipos de suelo y son introducidos a través de las semillas o restos de cultivos enfermos. Por ejemplo, en todos los suelos agrícolas se encuentra al género *Fusarium*, pero las especies *F. virguliforme* y *F. tucumaniae* se encuentran localmente produciendo el Síndrome de la Muerte Súbita de la soja, es decir es un típico invasor. Los habitantes naturales de suelo son microorganismos no especializados, con alta capacidad saprofítica y baja capacidad patogénica. Estos microorganismos pueden, aún en ausencia del hospedante, concluir con éxito su ciclo de vida utilizando sustratos orgánicos muertos, por lo que una rotación de cultivos tendrá un efecto casi nulo, y causan enfermedad solo ocasionalmente (semillas o tejidos jóvenes). Los invasores de suelo son patógenos especializados con una corta vida en ausencia del hospedante o sea baja capacidad saprofítica pero presentan una alta capacidad patogénica, por lo que una rotación de cultivo presentará un efecto mucho mayor (Grijalba, 2003).

Son muchas las causas por las cuales el manejo de estas enfermedades no se ha desarrollado con tanto éxito. Probablemente, las causas

de esta dificultad sean: 1) el amplio rango de hospedantes en común para la mayoría de ellos, 2) la dificultad de obtener resistencia genética, 3) la posibilidad de muchos de ellos de formar estructuras o esporas de resistencia, 4) la imposibilidad bioquímica de los fungicidas clásicos para moverse hacia las raíces (Reis *et al.*, 2010) y 5) el bajo éxito de la rotación de cultivos, debido a que el hábitat natural de muchos de estos patógenos es el suelo, y/o forman esporas o estructuras capaces de perdurar en él. *Macrophomina phaseolina*, *Rhizoctonia* spp., diversas especies de *Fusarium* (*F. verticillioides*, *F. graminearum*, etc.), causantes del Síndrome de la Muerte Súbita (*Fusarium virguliforme* y *F. tucumaniae*), entre otros, representan actualmente una amenaza consistente y de creciente preocupación para el futuro de la SD.

Desde la Cátedra de Fitopatología, FAUBA, individualmente y en forma conjunta con otros Investigadores e Instituciones, se han desarrollado investigaciones inéditas sobre los microorganismos habitantes del suelo patógenos de soja. Para las diferentes pudriciones de raíz y tallo se han investigado la eficiencia de ciertas alternativas de control, como por ej. el uso de fungicidas en semilla, control biológico (Agaras *et al.*, 2011; Pin Viso, 2013), supresividad (Elesgaray *et al.*, 2011; www.biospas.org), uso de variedades tolerantes, rotación de cultivos (Smirnov, *et al.*, 2013), uso de inductores de la resistencia (Carmona y Sautua, 2011a,b; Carmona *et al.*, 2011e).

El BIOSPAS (www.biospas.org PAE 36976, PID 89-2007) es un consorcio de investigación público-privado que estudia el suelo y rastrojo analizando en forma conjunta y simultánea diferentes parámetros biológicos y edáficos. Se toman muestras de suelo y plantas diferentes sitios clasificados según la historia de manejo en: buenas (BPA) y malas prácticas agrícolas (MPA), y ambiente natural (AN, sin intervención antrópica), en las localidades de Monte Buey y Bengolea (Córdoba), Pergamino (Buenos Aires)

y Viale (Entre Ríos). Los resultados muestran que como consecuencia de la supresividad en los sitios de AN y/o BPA se presentaron los menores niveles de enfermedades (Carmona *et al.*, 2011c). Específicamente en Pergamino, en los suelos que nunca fueron laboreados (AN) o donde se incluyó rotación (BPA), la capacidad supresiva a los patógenos estudiados (*F. verticillioides* y *M. phaseolina*) fue superior a la de los suelos con MPA (Elesgaray *et al.*, 2011; Giménez *et al.*, 2011).

En otras de las investigaciones inéditas se investigó e informó por primera vez sobre control *in vitro* de hongos fitopatógenos habitantes del suelo en el cultivo de soja mediante el uso de fosfitos (Ravotti *et al.*, 2012). El objetivo consistió en evaluar *in vitro* los efectos de los fosfitos de Manganeso (MnPhi-Ultra Mn) y de Potasio (KPhi) sobre diferentes patógenos causantes de enfermedades de tallo y raíz en soja: *Macrophomina phaseolina*; *Sclerotinia sclerotiorum*; *Fusarium virguliforme*; *Fusarium tucumaniae* y *Pythium ultimum*. Mediante análisis estadísticos de regresión se determinaron las diferentes CI_{50} (concentración de Phi capaz de inhibir el crecimiento del micelio en un 50%) para cada fosfito y patógeno. A medida que se incrementaron las concentraciones de MnPhi se observó una disminución gradual del crecimiento micelial en todos los microorganismos evaluados (registrando las menores CI_{50}), mientras que con KPhi, si bien se observó una tendencia similar, esta inhibición no fue tan marcada (mayores CI_{50}). En particular, *S. sclerotiorum* resultó insensible al KPhi. *Este estudio constituyó el primer informe acerca del efecto de los fosfitos en patógenos de soja habitantes del suelo.*

La Pudrición Gris o Carbonosa causada por *M. phaseolina* es una de las enfermedades más comunes del cultivo de soja, ocurriendo en todas las regiones donde se cultiva la leguminosa. Se trata de un hongo polífago, que ataca una gran variedad de especies, incluyendo maíz, sésamo, maní, poroto, vicia, y soja, entre otras especies,

registrándose daños por su ataque de hasta el 80% del rendimiento (Hartman *et al.*, 1999). Forma abundantes microesclerocios, en el suelo y en tejidos muertos. Los daños causados por este hongo son mayores bajo condiciones de sequía con altas temperaturas, condiciones en las que otros patógenos no prosperan. De todos los hongos que afectan las raíces de la soja, *M. phaseolina* merece la mayor atención, debido a que los daños que causa están incrementándose sostenidamente, independiente del manejo o rotación agrícola utilizada. Por ello y ante la dificultad de su manejo, se espera un crecimiento sostenido de la importancia de este patógeno en nuestro país.

M. phaseolina es un patógeno de gran importancia que merece especial atención, ya que la enfermedad que causa este hongo está incrementándose sostenidamente, independientemente del manejo agrícola que se utilice. Para este hongo se ha estudiado la influencia de las precipitaciones y las temperaturas sobre la intensidad de la pudrición carbonosa de la soja, y el comportamiento de variedades de soja frente a infecciones naturales de la pudrición carbonosa de la soja en la provincia de Salta (Perez Brandán, 2005).

Recientemente, la aplicación de dosis variables de K, combinadas o no con Mn, demostraron controlar en hasta un 40% o más a la enfermedad producida por el hongo habitante de suelo *M. phaseolina*, medido como UFC/g de raíz (unidades formadoras de colonias). Sin embargo, los mejores resultados se obtuvieron con la aplicación de 200kg de potasio/ha, mientras que el menor nivel de control fue con la combinación de la dosis más alta de potasio con manganeso, siendo estos resultados, inéditos para nuestro país (Tobar *et al.*, 2014).

Otras de las investigaciones inéditas fue la evaluación del efecto del PhiMn, Glifosato y la combinación de ambos en el desarrollo de la pudrición carbonosa en plantas de soja (Elesgaray *et al.*, 2014a) donde se valoró no solo la infección

y severidad de la enfermedad sino también la actividad enzimática integrante de las defensas naturales de la soja. En este trabajo, los resultados fitopatológicos mostraron una disminución significativa ($p < 0,05$) de las UFC en el tratamiento combinado de Phi Mn + Glifosato, con 2882 UFC/g, representando un 47% de control en comparación con el tratamiento de Glifosato y de 30% respecto del testigo inoculado. El mayor valor de las enzimas GPOX (guayacol peroxidada) y (PAL fenilalanina amonio liasa) ($p < 0,05$) se correspondió con el tratamiento de *M. phaseolina* + Glifosato + PhiMn, que es el tratamiento que redujo significativamente ($p < 0,05$) la severidad de la enfermedad. Con respecto a los tratamientos no inoculados, el Glifosato mostró reducir la actividad enzimática tanto en PAL como en GPOX. Se concluye que los efectos asociativos del glifosato y PhiMn resultaron ser significativos tanto para reducir la intensidad de la enfermedad *in vivo* como así también generar la inducción de PAL y GPOX. (Elesgaray *et al.*, 2014a,b).

Otra de las enfermedades causada por hongos de suelo que más ha incrementado su importancia en las últimas campañas es el Síndrome de la Muerte Súbita (SMS). En la Argentina, el SMS es causado por al menos cuatro especies del género *Fusarium*: *F. virguliforme* O'Donnell & T. Aoki, *Fusarium tucumaniae* T. Aoki, O'Donnell, Yos. Homma & Lattanzi, *F. brasiliense* T. Aoki & O'Donnell (Aoki *et al.*, 2003) y *Fusarium crassispitatum* Scandiani, T. Aoki & O'Donnell, sp. nov. (Aoki *et al.*, 2005, 2011). La especie de mayor prevalencia es *F. tucumaniae*, seguida por *F. virguliforme* (O'Donnell *et al.*, 2010). La selección para la resistencia a SDS es difícil debido a la naturaleza cuantitativa de los rasgos y las interacciones entre loci de resistencia y los factores ambientales. Si bien varios niveles de resistencia a *F. tucumaniae* se han observado en germoplasma de soja argentina, la obtención de variedades resistentes es muy difícil debido a que la infección de la raíz se produce antes de la expresión de los síntomas

foliares, los efectos del patógeno sobre el metabolismo de la raíz de las plantas son presintomáticas (Scandiani *et al.*, 2014).

Para las diferentes pudriciones de raíz y tallo, se han investigado la eficiencia de ciertas alternativas de control. Algunas de ellas han resultado parcialmente útiles, pero no alcanzan a obtener el éxito del manejo que se pretende para eliminar esta problemática creciente.

En colaboración con la Dra. Mercedes Scandiani (CEREMIC), principal referente en la investigación de esta importante enfermedad, se detectó por primera vez en el mundo el estado sexual de *Fusarium tucumaniae* en la naturaleza, principal agente causal del síndrome de la muerte súbita en nuestro país (Scandiani *et al.*, 2010) y se valoraron los daños y pérdidas a campo (Scandiani *et al.*, 2012b). Un aporte inédito consistió en el tratamiento de PhiMn aplicado a la semilla para disminuir los daños causados por el mencionado síndrome. Se realizaron ensayos de poder germinativo, vigor, de estimación de la severidad y rendimientos en invernáculo y a campo. Los resultados mostraron una disminución de la severidad y un incremento en los rendimientos significativo, constituyendo el primer reporte mundial de un tratamiento de semillas de soja con Phi (Carmona *et al.*, 2013b).

Las pudriciones de la base del tallo y raíces, producidas por pseudohongos de suelo, afectan a la soja en diferentes estados ontogénicos. La enfermedad más común es la conocida como Tizón de plántulas, que provoca la muerte de plántulas en pre y post emergencia. El tizón de plántulas y la pudrición de raíces por *Pythium* spp. son enfermedades comunes en todas las regiones sojeras de la Argentina.

Dentro del manejo de la enfermedad, la bibliografía indica algún tipo de resistencia a *Pythium aphanidermatum*; dicha especie no ha sido encontrada ni reportada para nuestro país en el cultivo de la soja (solo hay varias citas en cultivos intensivos y en invernáculo). Por lo que hasta el presente no hay resistencia genética disponible

para este género y se deben implementar distinto tipo de medidas dentro de un manejo integrado de la enfermedad. Entre las que se pueden citar medidas culturales: mejorar el drenaje del suelo y sembrar en suelos cálidos, por encima de 18 °C. Pero la principal medida es a través del tratamiento de la semilla con fungicidas específicos para *Pythiaceas*.

Por su parte, la pudrición de la base del tallo y raíces causada por *Phytophthora sojae* Kauf. & Gerd es una de las enfermedades que mayores daños causa en zonas bajas, suelos arcillosos o compactados y en años lluviosos. El manejo de la enfermedad se basa principalmente en la resistencia genética, conferida por genes mayores denominados *Rps*. La primera raza detectada en el país fue la 1, la cual prevaleció durante muchos años (Barreto *et al.*, 1995). La liberación de cultivares resistentes a esta raza y el monocultivo de soja con cultivares de estrecha base genética seleccionaron nuevos patotipos preexistentes, lo cual, sumado a los generados por recombinación sexual y asexual determinaron que actualmente la variabilidad del oomycete sea sumamente compleja (Gally *et al.*, 2007). Actualmente todos los genes de resistencia conocidos son superados por cepas aisladas de la región pampeana. Grijalba y Gally (2015) detectaron la presencia de 17 razas además de la 1 y de 19 patotipos que no coinciden con alguna raza previamente descrita. En la zona Sudeste de la provincia de Buenos Aires, durante el 2011 fue determinada una nueva raza altamente virulenta que quebró los genes de resistencia *Rps* 7, 1a, 1c, 1d, 1k y 3a (Grijalba *et al.*, 2011). Hasta ese momento era considerada como enfermedad potencial, pero en las últimas campañas y debido al exceso de lluvias en los primeros estadios ontogénicos del cultivo, se produjeron condiciones propicias para la enfermedad, la que pudo ser diagnosticada con características epidémicas y con alta variabilidad quebrando los genes *Rps* incorporados a las variedades comerciales (Grijalba y Ridaó 2013b; Grijalba *et al.*, 2014b).

El manejo de la enfermedad a través del uso de cultivares resistentes debe asociarse a los patotipos presentes en los lotes, lo cual lo torna sumamente complejo. El uso de fungicidas aplicados en semilla efectivos para oomycetes, solamente protege a la planta en los primeros estadios de desarrollo. Estos factores sumados a la acumulación de inóculo en los campos por el rastrojo con oosporas proveniente de cultivos enfermos, además de la capacidad del inóculo de persistir *per se* en el suelo, han determinado fuertes incrementos de daños causados por la enfermedad.

Desde hace más de 15 años, investigadores de la FAUBA junto a investigadores principalmente del INTA hemos trabajado en la determinación de la presencia y detección de razas de *P. sojae*. Pero desde 2012 investigadores de la FAUBA junto a la Dra. Ridao (FCA-UNMdP) y la Dra. Steciow (UNLP) hemos conformado un grupo de investigadores para estudiar todas las *Pythiaceas* que atacan al cultivo de la soja.

Se efectúan relevamientos en la provincia de Buenos Aires para determinar las especies del género *Pythium* que atacan al cultivo de soja. Así hemos determinado por primera vez a *Pythium* spp. asociado a raíces del cultivo de soja y posteriormente pudo encontrarse también a *Phytophthora helicoides* (Grijalba *et al.*, 2013 y 2014a). Como la principal medida de manejo es a través del tratamiento de la semilla con fungicidas específicos para *Pythiaceas* principalmente frente a *P. ultimum irregulare*. Se estudió la eficiencia de los fungicidas recomendados para este patógeno en la Argentina y otros formulados para su uso en semillas pero que no habían sido evaluados en soja (Grijalba y Ridao, 2013b). El control químico de la pudrición por *Pythium* en soja fue más eficaz con la aplicación del fungicida Metalaxil de manera preventiva. Si bien no se encontraron cepas resistentes a este patógeno, pero debido a la alta posibilidad de su generación es necesario buscar controles químicos o biológicos alternativos, por lo que se está

testando el uso de biocontroladores e inductores de defensas aplicados a la semilla.

Para el caso de *Phytophthora sojae* se continúa determinando su frecuencia de aparición y la determinación de las Razas/Fórmulas de virulencia de cada nuevo aislado. Se está trabajando con varios semilleros en el comportamiento de genotipos comerciales o pre-comerciales o razas determinadas. En comparación con la zona núcleo sojera, la aparición en el sudeste bonaerense fue muy rápida y con cepas muy virulentas por lo que se está evaluando su transmisión vía semilla.

En colaboración con otros investigadores e Instituciones, se investiga activamente la biología, epidemiología y manejo del Cancro del tallo de la soja (CTS). Junto con especialistas en filogenia molecular se efectuaron estudios de delimitación de especies para los agentes causales del CTS. Mediante la utilización y estudio de secuencias de todo el mundo (incluida la Rep. Argentina) del género *Diaporthe* recuperados de GenBank, que además se complementaron con pruebas de compatibilidad vegetativa entre aislamientos causales del CTS, se determinó que *D. caulivora* (*Dc*) y *D. aspalathi* (*Da*) (*syn D. phaseolorum var. meridionalis*) no deben ser considerados como miembros de la misma especie biológica (Guillin *et al.*, 2011 y 2014) apoyando los resultados de Santos *et al.* (2011) que elevaron a *Dc* a nivel de especie. Estos hallazgos son importantes para desestimar la tendencia de obtener resistencia genética al cancro ocasionado por *Dc* mediante la incorporación o piramidización, en genotipos existentes, de los cinco loci (*Rdm*) que se han descrito hasta ahora en soja y que confieren resistencia vertical contra *Da*. Dentro de esta enfermedad durante los años 2005, 2006 y 2007 se obtuvieron aislamientos de CTS de lotes comerciales de soja cultivados en las regiones Norte, Centro y Sur de la provincia de Buenos Aires, determinándose a *Dc* como el agente causal prevalente del CTS en dicha provincia. Debido a las diferencias observadas en inciden-

cia, severidad y virulencia se estudió la tasa de crecimiento *in vitro* y la patogenicidad de aislamientos, provenientes de diferentes zonas geográficas, a diferentes temperaturas (15, 20, 25 y 30 °C). La tasa promedio de crecimiento de los aislamientos fue mayor a medida que aumentó la temperatura: a 15 °C fue similar entre ellos, a 20 °C hubo pequeñas diferencias, a 25 °C se diferenciaron dos grupos, mientras que a 30 °C no hubo crecimiento. Las temperaturas de incubación indujeron diferentes porcentajes de mortandad: a 15 y 20 °C en cámara e invernáculo (a < 20 °C) los valores fueron entre 75 y 90%, mientras que a 25 °C en cámara y campo (a > 20 °C) los porcentajes de plantas muertas fueron inferiores a 40% (Grijalba y Ridaó, 2014). Además en laboratorio y campo se determinó la capacidad saprofítica de cepas de *Dc* y *Da* sobre rastrojos de maíz (*Zea mays*); sorgo (*Sorghum bicolor*), girasol (*Helianthus annuus*), papa (*Solanum tuberosum*), trigo (*Triticum aestivum*) y soja (*G. max*). Si bien todos los rastrojos fueron colonizados y produjeron estructuras reproductivas, en campo, soja y girasol presentaron la mayor cantidad de peritecios (estructura de supervivencia del patógeno). La similitud de crecimiento y el alto porcentaje de plantas muertas y la capacidad saprofítica determinada indicarían que las diferencias en incidencia y severidad se deberían al ambiente predisponente o al manejo cultural del cultivo antecesor que se realice (Grijalba y Ridaó, 2012).

El caso de las EFC, RAS y MOR

Desde hace al menos 10 años, en colaboración con otros investigadores e instituciones, se está investigando activamente la biología, epidemiología y manejo de las EFC. Entre los principales logros deben mencionarse al impacto de la rotación y monocultivo en la severidad de estas enfermedades (Carmona *et al.*, 2011c; Smirnoff *et al.*, 2013, 2014), diagnóstico, biología, epidemiología y su relación con el ambiente (Carmona *et al.*, 2009b; Scandiani *et al.*, 2012a; Carmona

et al., 2015a), daños causados por las EFC e impacto del uso de fungicidas (Carmona *et al.*, 2011d), y en la elaboración de sistemas de ayuda para decidir la aplicación de fungicidas de manera sustentable y rentable (Carmona *et al.*, 2012a; Carmona, 2013; Formento *et al.*, 2013; Carmona *et al.*, 2015a).

En relación al manejo del inóculo en rastrojo, se demostró que mediante prácticas culturales como la rotación se logra una menor intensidad de las enfermedades foliares y que en prácticas agrícolas no sustentables, como lo es el monocultivo bajo SD, existe mayor severidad de los patógenos necrotróficos y una tendencia a un menor rendimiento (Smirnoff *et al.*, 2014). Visitar: <http://ced.faua.info/ubatic/?q=node/58>

En relación al diagnóstico se han realizado numerosos trabajos de monitoreo, genéticos y moleculares. A modo de ejemplo, se informó por primera vez el estado sexual de la RAS en América del sur (Carmona *et al.*, 2005a, 2007) y su ocurrencia en el hospedante alternativo Kudzu (*Pueraria lobata*) (Carmona *et al.*, 2005b). Asimismo, se determinó por primera vez la variabilidad genética de *Colletotrichum* spp., en soja en la Argentina (Ramos *et al.*, 2013) y las epidemias de la MOR en la región pampeana (Carmona *et al.*, 2009b) y la determinación de sus razas (Scandiani *et al.*, 2012a) y de la primera cita de la ocurrencia de *C sojina* en semillas en nuestro país (Scandiani *et al.*, 2009), con propuestas de manejo químico en semillas. También se realizó la primera publicación mundial sobre el control biológico de la MOR mediante cepas de *Bacillus* en plantas de soja (Simonetti *et al.*, 2012)

En relación a los estudios epidemiológicos y de predicción que permitieron abordar modelos basados en variables ambientales para predecir la severidad de las EFC (Carmona *et al.*, 2010a; Carmona *et al.*, 2011a; Carmona *et al.*, 2015a). El estudio sobre moléculas fungicidas, el momento de aplicación y el impacto en los rendimientos en función de las lluvias, fueron avances inéditos

que permitieron orientar la aplicación de fungicidas en forma racional y sustentable (Carmona y Reis, 2009; Carmona *et al.*, 2011 a,b,d). En este sentido, 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 (R3-R5) (Kantolic y Carmona, 2012), no había información científica publicada sobre el momento más apropiado de aplicación de fungicidas, dentro de esa amplia ventana fisiológica de aplicación, que relacionara ambiente, epidemiología, daños y umbrales. Sin embargo, a partir de investigaciones de la Cátedra de Fitopatología, 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 (Carmona *et al.*, 2010a, 2011a,b). 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 que predisponen al desarrollo epidémico del complejo EFC. Dicho sistema está basado en 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 diferentes localidades y campañas agrícolas, permitieron analizar el impacto en el rendimiento agronómico y en la rentabilidad lograda, comparando el sistema de puntuación en comparación con aplicaciones fijas por fenología (R3 o 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 (Carmona *et al.*, 2015a). En la Argentina, este es el único sistema con base experimental y científica que existe para orientar o auxiliar la toma de decisiones para decidir las aplicaciones de fungicidas.

Recientemente, y mediante una Beca estudiante UBACyT, se determinó la fungitoxicidad de moléculas a los principales hongos de las EFC, obteniendo por primera vez en el país información relacionada con la potencia de los fungicidas para el control de las EFC (Andreatta, 2013).

En relación al control químico de la MOR, esta enfermedad, en comparación con las EFC, muestra sus síntomas en forma más temprana en los cultivos y presenta menor latencia e incubación. El control químico es la alternativa disponible si no se cuenta con 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 epifitias incluso en estados vegetativos, es importante contar con las bases de un programa de manejo sustentable de la enfermedad según el criterio de umbral de daño económico y predicción (Carmona *et al.*, 2010b; Sepulcri *et al.*, 2015). 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 (Carmona *et al.*, 2012b).

En esta línea de investigación se desarrolló el UDE de la MOR en la Argentina (Carmona *et al.*, 2013, Carmona *et al.*, 2015b). Para ello se llevaron a cabo tres ensayos de 40 parcelas cada uno, en la localidad del El Trébol, provincia de Santa Fe (desde 2010 a 2012), generando un gradiente de enfermedad para obtener las funciones de daño que predicen el daño en los rendimientos a medida que se incrementa la severidad de la MOR. Para diferentes estadios reproductivos de la soja y para cada estrato foliar (inferior, superior), se propusieron umbrales de daño móviles que serán de utilidad para enmarcar el uso de fungicidas dentro de un programa de manejo Integrado. Los resultados experimentales indican que sería oportuno aplicar cuando en las variedades susceptibles se alcancen entre 2-4 manchas en promedio, de al menos 2 mm por foliolo, desde R3 a R5.5 (para un rinde potencial de 4 t ha⁻¹ y un precio de soja de 235 USD t⁻¹). Esta información de base científica fue muy significativa para asesores y técnicos, y permitieron orientar la decisión de control químico de la enfermedad.

Para fortalecer las tareas de divulgación y extensión, la FAUBA coordinó académicamente junto a PROSOJA (Profesionales especialistas del cultivo de soja), el primer simposio sobre MOR organizado por ACSOJA (Asociación de la cadena de la soja en la Argentina), con más de 900 asistentes que se desarrolló en la BCR en el 2010. Esta reunión se convirtió en la más convocante de la historia sobre una enfermedad del cultivo de soja en la Argentina.

CONCLUSIONES

Estudiar el pasado para entender el presente y proyectar el futuro, será la clave del manejo integrado de las enfermedades del cultivo de soja en la Argentina. En los últimos años, se evidenció un crecimiento significativo de las enfermedades de los cultivos bajo SD, destacándose las enfermedades causada por necrotróficos, potenciadas por la combinación del monocultivo y SD, y la sojización de la región pampeana. Los cambios en estas prácticas agrícolas junto al cambio climático, ya han generado significativas modificaciones en el sistema productivo argentino. Mientras que hace 20 años atrás, *S. sclerotiorum* era el patógeno más frecuente, actualmente las EFC, MOR y las pudriciones de raíz y tallo protagonizan el escenario sanitario del cultivo de soja. Las perspectivas futuras, ante una demanda asegurada de granos para alimentación humana y animal, así como para la producción de biocombustibles, prevén una intensificación aún mayor de algunos grupos de cultivos como la soja, con lo que la probabilidad de continuar con los problemas sanitarios asociados a la combinación indeseable de monocultivo y SD ya descriptos, es elevada.

La Cátedra de Fitopatología de la FAUBA viene desarrollando investigaciones relevantes para poder interpretar y predecir esos cambios ayudando a determinar la magnitud de los mismos, y priorizar las estrategias y tácticas, de manejo muchas de ellas innovadoras, para minimizar los riesgos.

BIBLIOGRAFÍA

- Agaras, B.C.; M. Scandiani; A. Luque; M.A. Carmona; L.A. Fernández; L.G. Wall and C.F. Valverde. 2011. VII Characterizaion of *Pseudomonas* spp. from soil and rhizosphere with biocontrol activity against fungal pathogens and plant growth promoting properties (PGPP). Congreso Argentino de Microbiología General «SAMIGE del Bicentenario», Sociedad Argentina de Microbiología General (SAMIGE), 18, 19 y 20 de Mayo de 2011, Tucumán, Argentina.
- Andreatta, M. 2013. Sensibilidad in vitro de hongos causantes de enfermedades de fin de ciclo de la soja a fungicidas. Beca Estímulo Estudiante UBA. Director: Carmona, M.

- Aoki, T.; K. O'Donnell; Y. Homma and A.R. Lattanzi. 2003. Sudden death syndrome of soybean is caused by two morphologically and phylogenetically distinct species within the *Fusarium solani* species complex – *F. virguliforme* in North America and *F. tucumaniae* in South America. *Mycologia* 95: 660-684.
- Aoki, T.; K. O'Donnell and M. Scandiani. 2005. Sudden death syndrome of soybean in South America is caused by four species of *Fusarium*: *Fusarium brasiliense* sp. nov., *F. cuneirostrum* sp. nov., *F. tucumaniae* and *F. virguliforme*. *Mycoscience* 46: 162-183.
- Barreto, D.; B. Stegman and C. Fortugno. 1995. Races of *Phytophthora sojae* in Argentina and reaction of soybean cultivars. *Plant Disease* 79: 599-600.
- Carmona, M.; M. Gally and S. Lopez. 2005a. Asian Soybean Rust: Incidence, Severity, and Morphological Characterization of *Phakopsora pachyrhizi* (Uredinia and Telia) in Argentina. *Plant Disease* 89: 109.
- Carmona, M.; C. Fortugno and P.L. Achával. 2005b. Morphologic and Pathometric Characterization of the Asian Soybean Rust (*Phakopsora pachyrhizi*) on Kudzu (*Pueraria lobata*) in Argentina. *Plant Disease* 89: 1132.
- Carmona, M.; M. Gally and S. López. 2007. Studies on Asian Soybean Rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Argentina. *Fitopatología* 42: 25-30.
- Carmona, M. e E.M. Reis. 2009. 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.; M. Scandiani and A. Luque. 2009a. Severe outbreaks of Soybean Frogeye Leaf Spot in the Pampean Region, Argentina. *Plant Disease* 93(9): 966.
- Carmona, M.; M. Gally y F. Sautua. 2009b. Identificación y Manejo de las Enfermedades. pp 99-127. En: Manual del cultivo de soja / Fernando Oscar García; Ignacio Antonio Ciampitti; Héctor Baigorri. Editores- 1a ed. - Buenos Aires: International Plant Nutrition Institute. 180 p. ISBN 978-987-24977-0-5.
- Carmona, M.; R. Moschini; G. Cazenave and F. Sautua. 2010a. 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.
- Carmona, M.; N. Formento and M. Scandiani. 2010b. Manual Mancha Ojo de Rana. Ed. Horizonte A, Buenos Aires, Argentina. 40 pp.
- Carmona, M. 2011. Damages caused by frogeye leaf spot and late season disease in soybean in Argentina and control criteria. *Tropical Plant Pathology* 36: 1356-1358.
- Carmona, M. y F. Sautua. 2011a. Impacto de la nutrición y de fosfitos en el manejo de enfermedades en cultivos extensivos de la región pampeana. Actas Simposio Fertilizar 2011. Ed IPNI (International Plant Nutrition Institute) y Fertilizar 73- 82 pp. 18 y 19 de Mayo, Rosario, Argentina.
- Carmona, M y F. Sautua. 2011b. Os fosfitos no manejo de doenças nas culturas extensivas Revista Plantio Direto; pp 19-22, Diciembre de 2011, Brasil ISSN 16778081.
- Carmona, M.; F. Sautua; S. Perelman; E. Reis y M. Gally. 2011a. Relationship between Late Soybean Diseases Complex and rain in determining grain yield responses to fungicide applications. *Journal of Phytopathology* 159: 687-693.
- Carmona, M.; F. Sautua; S. Perelman; E. Reis y M. Gally. 2011b. 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.
- Carmona, M.; M. Gally; A. Romero; M. Scandiani; A. Luque; K. Ascuito y C. Gimenez. 2011c. Fitopatología en el BIOSPAS, 2do Congreso Argentino de Fitopatología, pag. 112 Libro de resúmenes, Mar del Plata 1, 2 y 3 de Junio de 2011.
- Carmona, M.A.; M. Gally; F. Sautua; A. Abello y P. Lopez. 2011d. Uso de mezclas de azoxistrobina y triazoles para el control de las enfermedades de fin de ciclo en el cultivo de soja. *Summa Phytopathologica* 37(2): 134-139.
- Carmona, M.; F. Sautua y M. Gally. 2011e. Fosfitos como herramienta complementaria en el manejo integrado de las enfermedades de fin de ciclo de la soja (Phosphites as a complementary tool of integrated management of soybean late season diseases). XLIV Congresso Brasileiro de Fitopatologia-Bento Gonçalves RS. *Tropical Plant Pathology* 36: 387.
- Carmona, M.; F. Sautua; M. Gally y E. Reis. 2012a. 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.; F. Sautua; C. Monaco y E. Reis. 2012b. 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. 2013. Sistema de pontuação auxiliar indicador do momento para aplicação de fungicidas no controle de doenças de final de ciclo na cultura da soja. 133-148 pp. *En: Indicadores do momento para a aplicação de fungicidas visando ao controle de doenças nas culturas da soja e do trigo.* 246 p. E.M. Reis Organizador, 2da ed., Passo Fundo, Berthier.
- Carmona, M.; F. Sautua; M. Gally; C. Mónaco and E. Reis. 2013a. Sustainable chemical control of frog-eye leaf spot and late season diseases of soybean in Argentina. Abstract 228: World Soybean Research Conference 2013, Durban South Africa. February 17-22.
- Carmona, M.; N. Formento; A. Luque; L. Lenzi; M. Tartabini; F. Sautua; E. Simonetti and M. Scandiani. 2013b. Effect of Mn phosphite seed treatment on development of soybean sudden death syndrome caused by *Fusarium tucumaniae*. Abstract 227. World Soybean Research Conference 2013 - Durban South Africa. February 17-22.
- Carmona, M. 2014. 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. Tesis de Doctorado, UNLP. 180p.
- Carmona, M.; F. Sautua; S. Perelman; M. Gally and E. Reis. 2015a. Development and validation of a fungicide scoring system for management of late season soybean diseases in Argentina. *Crop Protection* 70: 83-91.
- Carmona, M.; F. Sautua and E. Reis. 2015b. Soybean frog-eye leaf spot (*Cercospora sojina*): First economic damage threshold determination. *Advances in Applied Agricultural Science* (in press).
- Derpsch, R. 1985. Adubação verde e rotação de culturas. *En: Encontro Nacional de Plantio Direto*, 3, Ponta Grossa, 1985. Anais. Castro: Fundação ABC. pp. 85-104.
- Elesgaray, A.; A. Correa; A. Romero; M.C. Gimenez; M. Carmona y M. Gally. 2011. Supresividad de suelos de pergamino bajo diferentes prácticas agrícolas. 2do Congreso Argentino de Fitopatología, pag. 338, Libro de Resúmenes, Mar del Plata 1, 2 y 3 de junio de 2011.
- Elesgaray, A.M.; N.E. Tobar Gómez; C.S. Seijas; F.N. Spagnoletti y M.A. Carmona. 2014a. Efecto del glifosato y del fosfito de manganeso sobre la intensidad de ataque de *Macrophomina phaseolina* en plantas de soja. Libro de Resúmenes del 3º Congreso Argentino de Fitopatología. p.358. 4 al 6 de junio. Tucumán, Argentina.
- Elesgaray, A.; C. Zilli; K. Balestrasse y M. Carmona. 2014b. Podridão cinzenta da soja causada por *Macrophomina phaseolina*: Efeitos da associação de glifosato e fosfito de manganês. Uma nova ferramenta para seu manejo. Conferencia VII Reunião Brasileira sobre Indução de Resistência em Plantas a Patógenos», Universidad Estadual de Maringá, 19 al 21 de noviembre de 2014.
- Formento, N.; M. Carmona; L. Schutt; F. Sautua and M. Scandiani. 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.
- Gally, M.; A.M. Ramos; D. Dokmetzian and S.E. Lopez. 2007. Genetic variability of *Phytophthora sojae* isolates from Argentina. *Mycologia* 99: 813-819.
- Grijalba, P. 2003. Enfermedades de raíz y base del tallo de la soja. Manejo Integrado de Enfermedades en Cultivos Extensivos. Jornadas Técnicas. Buenos Aires: 72-76.
- Grijalba, P.E.; A.dC. Ridaio and H.E. Palmucci. 2011. New race of *Phytophthora sojae* in southern Buenos Aires province (Argentina). *Phytopathology* 101(6): 64.
- Grijalba, P. and A.dC. Ridaio. 2012. Survival of *Diaporthe phaseolorum* var. *caulivora* (causal agent of Soybean Stem Canker) artificially inoculated in different crop residues. *Tropical Plant Pathology* 37(4): 271-274.
- Grijalba, P.E.; H.E. Palmucci y A.dC. Ridaio. 2013. Una nueva especie de *Phytophthora* asociada a raíces de soja en Argentina. XVII Congreso Latinoamericano de Fitopatología y XXII Congreso peruano de Fitopatología. Perú, 1 al 5 de Octubre: Pg 34.
- Grijalba, P.E. y A.dC. Ridaio. 2013a. Presencia y determinación de razas de *Phytophthora sojae* en el Sur de la Provincia de Buenos Aires (Argentina). XVII Congreso Latinoamericano de Fitopatología y XXII Congreso peruano de Fitopatología. Perú, 1 al 5 de Octubre: Pg 33.
- Grijalba, P.E. y A.dC. Ridaio. 2013b. Control químico de *Pythium* spp. asociado con plántulas de soja. XVII Congreso Latinoamericano de Fitopatología y XXII Congreso peruano de Fitopatología. Perú, 1 al 5 de Octubre: Pg 34.
- Grijalba, P.E. y A.dC. Ridaio. 2014. Tasa de crecimiento y patogenicidad de aislamientos de *Diaporthe phaseolorum* var. *caulivora*. *Phyton* 83: 325-332.

- Grijalba, P.; M. Steciow y A.dC. Ridao. 2014a. *Pythium catenulatum* y *Phytophthora helicoides* asociados a plántulas de soja. Tercer Congreso Argentino de Fitopatología. 4-6 de junio. San Miguel de Tucumán. Pg 187.
- Grijalba, P.; A.dC. Ridao y M. Steciow. 2014b. Prevalencia y Caracterización de Razas de *Phytophthora sojae* en el Sudeste de Buenos Aires. Tercer Congreso Argentino de Fitopatología. 4-6 de junio. San Miguel de Tucumán. pg 370.
- Grijalba, P. and M. Gally. 2015. Virulence of *Phytophthora sojae* in the Pampeana Subregion of Argentina from 1998 to 2004. *Journal of Phytopathology*, in press, doi: 10.1111/jph.12369
- Guillin, E.; P. Grijalba y A. Gottlieb. 2011. Agentes causales del cancro del tallo de la soja en la Argentina: ¿Dos especies diferentes? Actas Mercosoja. Rosario Argentina. Pp. 19-22.
- Guillin, E.A.; P.E. Grijalba; L.O. de Oliveira y A.M. Gottlieb. 2014. Specific boundaries between the causal agents of the soybean stem canker. *Tropical Plant Pathology* 39(4): 316-325.
- Hartman, G.L.; J.B. Sinclair and J.C. Rupe. 1999. Compendium of soybean diseases. 4th Ed. APS Press, The American Phytopathological Society, St. Paul MN, USA. 100 pp.
- Kantolic, A. e 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 Capítulo 1; 12-54 pp En: Doenças da soja 436 p E. M. Reis & R. T. Casa Editores ISBN 978-85-7912-082-4.
- O'Donnell, K.; S. Sink; M. Scandiani; A. Luque; A. Colletto; M. Biasoli; L. Lenzi; G. Salas; V. González; D. Ploper; N. Formento; R. Pioli; T. Aoki; X. Yang and B. Sarver. 2010. Soybean sudden death syndrome species diversity within North and South America revealed by multilocus genotyping. *Phytopathology* 100: 58-71.
- Perez Brandán, C. 2005. Caracterización y manejo de *Macrophomina phaseolina* en soja en el NOA. Tesis de Maestría, INTA EEA Cerrillos, Salta. EPG. FAUBA, UNRC.
- Pin Viso, N. 2013. Beca Estimulo a las vocaciones científicas convocatoria 2013-2014 y 2014-2015 Consejo Interuniversitario Nacional CIN, Alternativas sustentables para el manejo de patógenos de soja: aislamiento y caracterización de antagonistas Director: Marcelo Carmona, Co-Directora: Ester Simonetti.
- Ploper, D. 2004. Economic importance of and control strategies for the major soybean diseases in Argentina. Eds. Moscardi, F.; Hoffmann-Campo, C.B.; Saraiva, O.F.; Galerani, P.R.; Krzyzanowski, F.C.; Carrão-Panizzi, M.C.; Proceedings VII World Soybean Research Conference, IV International Soybean Processing and Utilization Conference, III Congresso Brasileiro de Soja (Brazilian Soybean Congress), Foz do Iguazu, PR, Brazil, 29 February-5 March, 2004 2004 pp. 606-614. ISBN 85-7033-004-9.
- Ramos, A.M.; L.F. Tadic; I. Cinto; M. Carmona and M. Gally. 2013. Molecular characterization of *Colletotrichum* species causing soybean anthracnose in Argentina. *Mycotaxon* 123: 457-465.
- Ravotti, M.; E. Simonetti; M. Scandiani; A. Luque; N. Formento y M. Carmona. 2012. Control in vitro de fitopatógenos habitantes del suelo que atacan al cultivo de soja mediante el uso de fosfitos. XIV Jornadas Fitosanitarias Argentinas, 3, 4 y 5 Octubre 2012. Potrero de los Funes, San Luis, Argentina, p.16.
- Reis, E.M. y M.A. Carmona. 2006. Bases para el manejo integrado de enfermedades en sistemas de siembra directa. XIV Congreso AAPRESID, pp.11-26.
- Reis, E.M.; A.C. Reis e M.A. Carmona. 2010. Manual de fungicidas. Controle químico de doenças de plantas. ISBN 97885-7515-464-9 Ed: Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil, 226 pp.
- Santos Dos, H.P.; E.M. Reis e R. Derpsch. 1983. Rotação de culturas. In: Plantio Direto no Brasil. Embrapa-Fecotriga e Fundação ABC. Passo Fundo, pp. 85-103.
- Santos, J.M.; K. Vrandečić; J. Cosić; T. Duvnjak and A.J. Phillips. 2011. Resolving the *Diaporthe* species occurring on soybean in Croatia. *Persoonia* 27: 9-19.
- Scandiani, M.; M. Ferri; M. Carmona; D. Ruberti; A. Luque y M. Tarabini. 2009. Presencia de *Cercospora sojina* Hara en semillas de soja. Métodos para su detección. XII Jornadas Fitosanitarias Argentinas, Santiago del Estero, 30 de setiembre al 2 de octubre, 2009.
- Scandiani, M.M.; T. Aoki; A.G. Luque; M.A. Carmona and K. O'Donnell. 2010. First report of sexual reproduction by the soybean sudden death syndrome pathogen *Fusarium tucumaniae* in nature. *Plant Disease* 94: 1411-1416.
- Scandiani, M.; M. Ferri; N. Formento; M. Carmona; A. Luque and P. Balatti. 2012a. First Report of races 11 and 12 of *Cercospora sojina*, the causal agent of Soybean Frog-eye Leaf Spot, in Argentina. *Plant Disease* 96(7): 1067.
- Scandiani, M.; M. Carmona; A. Luque; K. da Silva Matos; L. Lenzi; N. Formento; C. Martínez; M. Ferri; M. Lo Piccolo; M. Tarabini; D. Álvarez y F. Sautua. 2012b. Aislamiento, identificación y daños asociados al síndrome de la muerte súbita en el cultivo de soja en Argentina. *Tropical Plant Pathology* 37(5): 358-362.

- Scandiani, M.M.; A.G. Luque; M.V. Razori; L. Ciancio Casalini; T. Aoki; K. O'Donnell; G.D.L. Cervigni and C.P. Spampinato. 2014. Metabolic profiles of soybean roots during early stages of *Fusarium tucumaniae* infection. *Journal of Experimental Botany* 66(1): 391-402. doi: 10.1093/jxb/eru432. Epub 2014 Oct 21.
- Sepulcri, G.; R. Moschini and M. Carmona. 2015. Soybean frogeye leaf spot (*Cercospora sojina*): first weather-based prediction models developed from weather station and satellite data *Advances in Applied Agricultural Science* (in press).
- Simonetti, E.; M.A. Carmona; M.M. Scandiani; A.F. García; A.G. Luque; O.S. Correa and K.B. Balestrasse. 2012. Biological control of frogeye leaf spot of soybean caused by *Cercospora sojina* with indigenous strains of bacteria. *Letters in Applied Microbiology* 55(2): 170-173. doi:10.1111/j.1472-765X.2012.03266.x.
- Smirnoff, C.; M. Gally; K. Ascitutto; S. Gatica; A. Romero and 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.
- Smirnoff, C.; M. Gally; A. Romero y M. Carmona. 2014. La rotación como práctica cultural en la reducción de la severidad de manchas foliares en soja bajo siembra directa Pag. 424 Libro de Resúmenes del 3er Congreso Argentino de Fitopatología, 4,5, y 6 de junio de 2014, San Miguel de Tucumán.
- Tobar Gómez, N.E.; A.M. Elesgaray; F.N. Spagnoletti; C.S. Seijas; R.S. Lavado y M.A. Carmona. 2014. Impacto de la fertilización con K y Mn sobre la severidad de la pudrición carbonosa de la base del tallo (*Macrophomina phaseolina*) en plantas de soja. Libro de Resúmenes del 3° Congreso Argentino de Fitopatología. p.428. 4 al 6 de junio. Tucumán, Argentina.
- Yorinori, J.T.; W.M. Paiva; R.D. Frederick; L.M. Costamilan; P.F. Bertagnoli and G.L. Hartman. 2005. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhiz*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. *Plant Disease* 89: 675-677.
- Yorinori, J.T. 2011. DFC e Mancha alvo. 5° Congreso de la Soja del Mercosur, Mercosoja 2011 pp 1-4.