

# Impacto de mancha ojo de rana (*Cercospora sojina* k. Hara) sobre rendimiento y componentes industriales del grano de soja: aceite y proteína

## Impact of frog-eye leaf spot (*Cercospora sojina* k. Hara) on yield and soybean seed industrial components: oil and protein

Nicolás E. Gaido <sup>1</sup>, Jorge O. Gieco <sup>2</sup>, Constanza S. Carrera <sup>3,4</sup>

Originales: Recepción: 16/10/2012 - Aceptación: 26/07/2013

Nota científica

### RESUMEN

La mezcla de fungicidas estrobilurina y triazol (E+T) se aplicó a 2 cultivares contrastantes en susceptibilidad a mancha ojo de rana (MOR) (DM3700 y DM3810) en los estadios R3 o R3+R5; se incluyeron además 2 controles: enfermo y sano. Se evaluó incidencia y severidad de MOR, rendimiento, número de granos (NG), peso de granos (PG), aceite y proteína del grano. Se observaron distintos niveles de severidad entre tratamientos de DM3700 y ausencia de MOR en los tratamientos de DM3810. Se encontró correlación negativa entre severidad y rendimiento. En DM3700 los valores más elevados de severidad se correspondieron con rendimientos más bajos (2117 kg/ha). DM3810 exhibió rendimientos elevados y sin diferencias estadísticas entre tratamientos (3478 kg/ha). Aunque NG y PG disminuyeron en el testigo enfermo DM3700, las reducciones del NG fueron más pronunciadas. No hubo incrementos de rendimiento, NG y/o PG atribuidos a E+T en DM3810. La severidad máxima en el cultivar más susceptible no fue suficiente para disminuir

### SUMMARY

The mixture of strobilurin and triazole (S+T) was applied to 2 contrasting cultivars in susceptibility to frog-eye leaf spot (FLS) (DM3700 y DM3810) at growth stages R3 or R3+R5; untreated control and healthy control were also included. Incidence and severity of FLS, yield, grain number (NG), grain weight (GW), grain oil and protein were evaluated. Different levels of severity between DM3700 (susceptible) treatments, and absence of FLS in DM3810 (resistant) treatments were observed. Negative correlation was found between severity and yield. In DM3700 higher values of severity corresponded to lower yields (2117 kg/ha). DM3810 exhibited the higher yields without statistical differences between treatments (3478 kg/ha). Although NG and PG decreased in the untreated control DM3700, NG reductions were more pronounced. No increments of yield, NG and/or PG were attributed to S+T in DM3810. The maximum severity achieved by the more susceptible cultivar was not sufficient to significantly decrease oil and protein. FLS could

- 1 Aceitera General Deheza, Acopio Oncativo. San Martín y L. Lugones. (5986) Oncativo, Córdoba, Argentina.
- 2 Laboratorio de Biotecnología EEA Manfredi-INTA. Ruta Nac. N° 9 Km 636. (5988) Manfredi, Córdoba, Argentina.
- 3 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).
- 4 Ecofisiología EEA Manfredi-INTA. Ruta Nac. N° 9 Km 636. (5988) Manfredi, Córdoba, Argentina. carrera.coty@gmail.com

significativamente aceite y proteína. MOR pudo ser controlada en el cultivar susceptible con una única aplicación de E+T en R3. El uso del cultivar resistente a MOR resultó efectivo para controlar la enfermedad y no manifestó beneficios adicionales en rendimiento debido a la aplicación de fungicidas. En este trabajo se concluyó que MOR no afectó la calidad industrial del grano.

be controlled on the susceptible cultivar with a single application of S+T at R3. The use of the resistant cv to FLS was effective in controlling the disease, and showed no additional benefits in yield due to fungicide application. It was concluded that FLS did not affect the chemical quality of the grain.

### Palabras claves

calidad química • estadios de crecimiento de la soja • estrobilurina • número de granos • peso de granos • triazol

### Keywords

chemical quality • soybean growth stages • strobilurin • grain number • grain weight • triazole

## INTRODUCCIÓN

La región sojera argentina cubre una extensa área ecológica que se extiende desde la latitud 23° a la 39° Sur, comprendiendo un rango amplio de condiciones ambientales. El cultivo se realiza mayoritariamente bajo secano y crece en condiciones ambientales muy contrastantes en términos de precipitaciones, radiación solar y temperatura (11) que influyen en el desarrollo y prevalencia de diversas enfermedades fúngicas, las cuales constituyen una de las principales limitantes del cultivo, afectando no solo la cantidad sino también la calidad de la producción obtenida.

La mancha ojo de rana (MOR), cuyo agente causal es el patógeno fúngico *Cercospora sojina* K. Hara, es una enfermedad común en soja [*Glycine max* (L.) Merr.], en la mayor parte de los países productores de dicho cultivo (25). En Nigeria se estimaron pérdidas de rendimiento atribuidas a MOR en el rango de 44 al 60% (2, 12). En Zambia, los daños registrados llegaron hasta 37,2% (26). En Argentina, se reportaron pérdidas de rendimiento entre 15% (20) y 40% (27). El efecto detrimental de MOR sobre el rendimiento podría deberse a la reducción del área foliar fotosintéticamente activa a través de lesiones necróticas y/o a la defoliación prematura (12).

El uso de variedades resistentes es una de las principales medidas de control para esta enfermedad, permitiendo un enfoque no solo de bajo costo, sino también ambientalmente amigable (1, 40). Si bien se han observado niveles eficaces de resistencia a MOR en soja (12, 40) la oferta de estas variedades en los grupos de madurez más sembrados en la región sojera argentina es aún escasa (15). La aplicación foliar de fungicidas surge como alternativa de control rápida y eficaz de MOR. Los tratamientos químicos se realizan entre plena floración e inicio de formación de granos (R2-R5) (25) con el objetivo de eliminar el parasitismo y preservar el área foliar verde generadora de asimilados. Algunos autores consideran eficiente el uso de mezclas de estrobilurinas y triazoles en R3 y/o R5 (7, 8).

En los cultivos de grano, no solo el rendimiento es afectado por las enfermedades de fin de ciclo, también la composición química del grano puede afectarse. Existen antecedentes del efecto de enfermedades foliares sobre el contenido de proteína del grano de trigo y/o cebada (14, 30). Sin embargo, hasta este momento no existen trabajos que hayan evaluado el efecto de MOR sobre la calidad del grano de soja, especialmente en lo relativo al contenido de proteína y aceite. Su estudio podría proporcionar información útil para implementar y facilitar la adopción de prácticas de manejo tendientes a alcanzar no solo altos rendimientos sino también para obtener productos de alta calidad industrial.

## Objetivos

- Estudiar el efecto de MOR sobre rendimiento y calidad industrial del grano de soja.
- Analizar la respuesta a distintos momentos de aplicación de estrobilurina + triazol durante el ciclo reproductivo del cultivo sobre la incidencia de MOR en variedades de resistencia contrastante.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un ensayo bajo secano durante la campaña agrícola 2010-2011, utilizando dos cultivares comerciales transgénicos de soja, ambos del grupo de madurez III: DM3700RR y DM3810RR. El grado de susceptibilidad a MOR es de 4,58 para el cultivar DM3700RR y 1 para DM3810RR (18), según la escala propuesta por Distéfano *et al.* (16), en la cual 1 corresponde a plantas sin síntomas y 4,58 a la respuesta de un cv. susceptible entre grado 4 y 5. El ensayo fue sembrado el 19 de diciembre del 2010, en Oncativo, Córdoba (31° 54' S, 63° 40' O), en un lote con suelo tipo franco-limoso de la serie Oncativo (Haplustol éntico). El cultivo antecesor en dicho campo fue soja. El tamaño de cada parcela fue de cuatro surcos a 0,52 m por 2 m de largo y la densidad final de 36 plantas m<sup>-2</sup>. Para prevenir reducciones de rendimiento debido a otros factores bióticos se realizó el control de malezas e insectos según prácticas de manejo recomendadas para la región. Durante el ciclo de cultivo se determinaron los estadios fenológicos de: (R1) inicio de floración, (R3) inicio de formación de vainas, (R5) inicio de llenado de granos, (R7) madurez fisiológica, según la escala de Fehr & Caviness (17). Además, en cada estadio fenológico se determinó visualmente la incidencia y severidad de la enfermedad, utilizando la escala MOR propuesta por Distéfano *et al.* (16). La incidencia se determinó como el porcentaje de plantas enfermas sobre el total evaluado. La severidad de la enfermedad fue determinada estimando el porcentaje del área dañada de cada folíolo en los surcos centrales de cada parcela, para lo cual se seleccionaron folíolos del estrato superior, medio e inferior. Los valores de cada tercio se promediaron para obtener la severidad media de la enfermedad.

Se empleó un diseño estadístico de bloques en parcelas divididas con arreglo en franjas con 3 repeticiones, donde la parcela principal correspondió a las variedades

y la sub-parcela a los tratamientos de aplicación. Para la aleatorización de los tratamientos se utilizó el software Research Randomizer (34). Para cada cultivar se realizaron cuatro tratamientos: aplicación en R3; aplicación en R3+R5; testigo enfermo (sin aplicación de fungicida) y testigo sano (aplicación cada 20 días a partir de R1). Si bien la determinación del momento de aplicación de fungicidas para MOR es una tarea compleja y debería guiarse por varios criterios, se eligieron dichos estadíos reproductivos para realizar las aplicaciones siguiendo la recomendación reportada en la literatura (32, 33) y así poder, posteriormente, comparar los resultados obtenidos con trabajos previos.

Se aplicó un producto comercial compuesto por una mezcla de triazol y estrobilurina más el agregado de aceite agrícola al 1% del volumen total de aplicación, siguiendo la dosis recomendada por CASAFE (6). Estos dos fungicidas son los más utilizados principalmente debido a su amplio espectro de actividad y persistencia (32, 33).

La aplicación se realizó con una mochila manual (Giber, Buenos Aires, Argentina) de 20 l, utilizando pastillas de cono hueco con un caudal equivalente a 200 l ha<sup>-1</sup> de caldo.

Para una mejor interpretación de los parámetros incidencia y severidad de la enfermedad, se registraron diariamente los datos de temperatura media del aire, obtenidos en la estación meteorológica del INTA Manfredi ubicada a 8 km del ensayo. El registro de las precipitaciones fue obtenido de un pluviómetro colocado en el sitio de ensayo. A cosecha se determinó el rendimiento (Rto, kg/ha) en granos ajustado a la humedad base del cultivo (13,5%), como así también sus componentes número de grano por unidad de superficie (NG) y peso de granos (PG, g) ajustados a la humedad base .

La concentración de proteína (Pr) y aceite (Ac) (expresados como porcentaje en base seca) se determinó por espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRs), utilizando un equipo Instalab 600 (Dickey Jhon, Minneapolis, USA) y siguiendo los métodos propuestos por AACCC (3). Estas determinaciones fueron llevadas a cabo en el Laboratorio de Calidad Industrial de la Aceitera General Deheza, ubicado en la localidad de General Deheza, Córdoba, Argentina.

Los datos obtenidos del ensayo se analizaron de acuerdo con el diseño bifactorial detallado anteriormente utilizando ANAVA. El nivel de significación utilizado fue del 5%. La comparación de medias se realizó mediante la prueba LSD de Fischer.

Para ajustar el modelo estadístico se utilizó un enfoque de modelos lineales y mixtos. Para ello se utilizó la función *lme* de la librería *nlme* de R version 2.2.11 (28), mediante la interfaz implementada en InfoStat (13). Para las variables Rto, NG, PG, Pr y Ac, el modelo estadístico incluyó una función de varianza para contemplar que las varianzas residuales aumentaban con el valor medio de respuesta.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### **Condiciones ambientales durante el ensayo, presencia de MOR en ambos cultivares y efectividad del control químico**

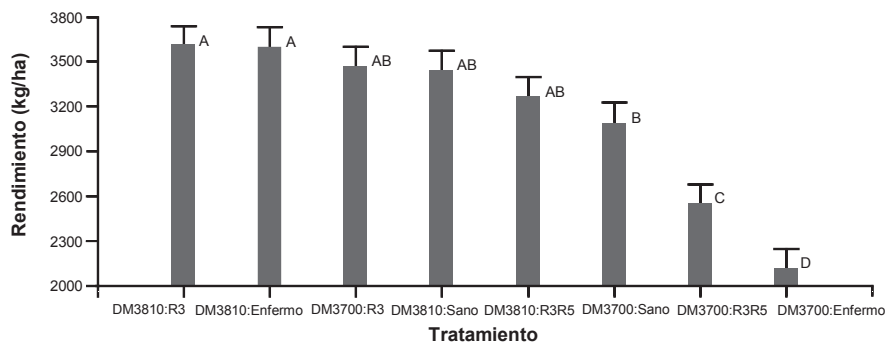
La precipitación durante los meses en que se realizaron las observaciones de niveles de enfermedad (febrero y marzo) fue levemente menor a la media de 35 años (187 vs 202 mm), y también la temperatura fue menor a dicha media (20,5 vs 21,3°C). De este modo, precipitaciones ligeramente inferiores combinados con temperaturas menores a la media histórica, generaron condiciones menos propicias para el desarrollo de la enfermedad que las que se podrían observar en años más húmedos y cálidos. Tanto DM3700 como DM3810 alcanzaron los estadios de R1, R3, R5 y R7 prácticamente en la misma fecha, por lo que ambos exploraron condiciones ambientales similares tanto en el estadio vegetativo como en el reproductivo.

Se registraron diferentes niveles de severidad de mancha ojo de rana en todos los tratamientos correspondientes al cultivar DM3700 (susceptible a MOR), excepto en aquel en el cual se aplicó el fungicida a intervalos constantes de 20 días (testigo sano) a partir del estado fenológico de R1 el cual exhibió hojas sin manchas de MOR. En este cultivar, la severidad del ataque de MOR medida en los estadios fenológicos de R3, R5 y R7 fue similar en los tratamientos en los que se aplicó una vez (R3) y dos veces (R3 y R5), correspondiéndose con el grado 2 (escala 1 al 6), es decir que presentaron 5% del área foliar con manchas. El tratamiento que no recibió aplicaciones (testigo enfermo) alcanzó valores de severidad de 5% (grado 2), 15% (grado 3) y 35% (grado 4) en los estadios fenológicos de R3, R5 y R7, respectivamente. Los tratamientos que involucraron DM3810 (resistente a MOR) no mostraron síntomas de la enfermedad en las hojas. La diferencia tan marcada en el porcentaje de severidad observada entre ambos cultivares de soja confirma que algunos cultivares pueden ser más afectados por MOR que otros. Incluso la ausencia de síntomas en las hojas pertenecientes a DM3810 demuestra resistencia a la enfermedad de dicho material. Los valores de severidad de MOR exhibidos por los 2 cultivares analizados son coincidentes con los observados por Fuentes *et al.* (18) a través de la red de evaluación de cultivares de soja (RECSO) en la región pampeana argentina.

### **Efectos de cultivar, tratamiento y de la interacción entre cultivar y tratamiento sobre el rendimiento de soja y los componentes numéricos**

Los resultados de la ANAVA mostraron que la interacción cultivar × tratamiento fue estadísticamente significativa ( $p < 0,0001$ ) tanto para rendimiento como para sus componentes (NG y PG). No hubo diferencias estadísticas en el Rto alcanzado por DM3810 (resistente) entre los diferentes tratamientos aplicados, exhibiendo este cultivar los rendimientos más elevados (3478 kg/ha) (figura 1, pág. 332). El cultivar DM3700 alcanzó rendimientos similares a DM3810 solo cuando se aplicó la mezcla de fungicidas en R3 y cada 20 días a partir de R1, mostrando ambos tratamientos un incremento en el rendimiento de 35,5% comparado con su testigo enfermo. Akem (1) observó que para controlar MOR en cultivares de soja susceptibles a *C. sojina* los mejores resultados se alcanzaban cuando las aplicaciones se realizaban entre R1 y R3 manifestándose en diferencias de rendimientos de hasta 556 kg/ha comparado

con aplicaciones realizadas posteriormente. Carmona *et al.* (10) también encontraron que las aplicaciones en R3 resultaron en rendimientos estadísticamente superiores (3500 kg/ha) comparado con las realizadas en R5 (3350 kg/ha). Sin embargo, Distéfano y Gadbán (15), en un trabajo realizado para identificar el momento de aplicación óptimo para controlar MOR en soja, observaron que ante una severidad de grado 2,5 (escala 1 a 6) la doble aplicación en R3 y R5 resultó en el rendimiento más alto de 4929 kg/ha, comparado con los rendimientos alcanzados con única aplicación en R3 o R5, 4454 y 3993 kg/ha, respectivamente.



Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

Different letters indicate statistically significant differences ( $p < 0.05$ ).

**Figura 1.** Rendimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de las diferentes combinaciones de cultivar (DM3700 y DM3810)  $\times$  tratamiento (testigo sano, aplicación en R3, aplicaciones en R3 y R5, testigo enfermo).

**Figure 1.** Yield ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) of the different cultivar (DM3700 and DM3810)  $\times$  treatment (healthy control, application at R3, applications at R3 and R5, sick control) combinations.

Por otro lado, Arias *et al.* (4) hallaron que la aplicación de fungicidas en R3.4 (cuando el nivel de manchas foliares era aún escaso), R5.4 (con una severidad de 38,2% de área foliar dañada) o en combinaciones de ambos momentos no produjo diferencias significativas de Rto con respecto al testigo sin tratar.

El método de control basado en la terapia o cura se lleva a cabo una vez que el cultivo está enfermo y también actúa principalmente sobre la tasa epidemiológica. Se puede llevar a cabo con fungicidas que combinen acción preventiva, curativa y erradicante. En este caso, la clave de la aplicación de fungicidas desde el punto de vista epidemiológico y del manejo integrado, es el desarrollo de umbrales de daño económico que expresen el máximo nivel de enfermedad que se puede tolerar en términos económicos (9). De los resultados obtenidos en los diferentes estudios puede deducirse que no existe un momento óptimo de aplicación de fungicidas para el control de MOR en soja, que no siempre la aplicación de fungicidas entre R3 y R5 tiene un efecto significativo sobre el rendimiento, y es importante considerar aspectos no solo referidos a la enfermedad (estado fenológico en aparición de síntomas, severidad), condiciones ambientales, genotipo de soja, sino también del cultivo tales como nivel

de rendimiento, área foliar remanente, ocurrencia de otro estrés, que modulan el nivel de respuesta del rendimiento.

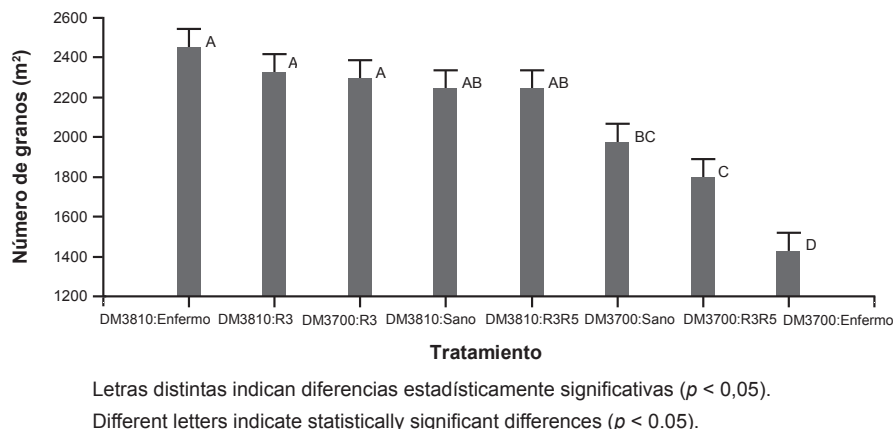
En el presente estudio, los rendimientos más elevados de DM3700 en los tratamientos en los cuales se aplicó en R3 y cada 20 días a partir de R1 comparado con el testigo enfermo, podrían deberse a que al disminuir el parasitismo por la aplicación E+T en estadios reproductivos tempranos se preservó por más tiempo el área foliar verde generadora de fotoasimilados. De esta forma, Kantolic y Carmona (22) afirman que el cultivo al mantenerse por más tiempo en niveles superiores al IAF crítico maximiza la tasa de crecimiento lo que, en ausencia de otros estreses, generaría mayores rendimientos. Aunque solo se pudo hipotetizar porque en este estudio no se midieron los parámetros mencionados, la pérdida de follaje y el aceleramiento a R7 (madurez fisiológica) del testigo enfermo respecto del resto de las parcelas tratadas, que respetaron el ciclo normal de la variedad, son indicadores que respaldan dicha hipótesis.

Los rendimientos más bajos de DM3700 (2117 kg/ha) se correspondieron con los porcentajes más elevados de severidad (35% de manchas foliares) exhibidos por el testigo enfermo (sin aplicaciones) indicando una relación negativa entre ambas variables. Esto también estaría mostrando que las variaciones en el rendimiento de DM3700 fueron debidas a los efectos de la enfermedad sobre dicho cultivar. Dashiell & Akem (12) también encontraron una relación negativa entre severidad de MOR y rendimiento. Estos autores observaron que valores elevados de severidad de 4,5 (escala de 0-5) se correspondieron con los rendimientos más bajos (576 kg/ha) en el cultivar más susceptible sin aplicaciones de fungicidas lo que representó una pérdida del 54% respecto del mismo cultivar tratado que rindió 1262 kg/ha. En Zambia (26), el valor de severidad más elevado de 50,2% de área foliar dañada por MOR estuvo asociado al menor rendimiento (1456 kg/ha) en el cultivar más susceptible sin control químico, representando una merma de 37,2% comparado con el mismo cultivar pero tratado que rindió 2320 kg/ha. En Argentina, la evaluación de cultivares de los GM III y IV, con y sin control químico determinó que en los testigos enfermos incrementos de severidad de MOR provocaban aumentos en la pérdida de rendimientos. Los niveles de severidad de grado 1 estuvieron asociados con pérdidas de 17,3 kg/ha y los de grado 3 con una disminución del rendimiento de 685 kg/ha (15).

El aumento de severidad de MOR implica un aumento en la proporción del área foliar enferma respecto de la sana (23), perdiendo los sectores enfermos la capacidad de fotosintetizar. Por lo tanto, al reducirse el área foliar verde hacia el final del ciclo, disminuye también la cantidad de radiación absorbida por el cultivo, precisamente durante la etapa más crítica para la determinación del rendimiento, cuando el cultivo está fuertemente limitado por fuente, comprometiendo el rendimiento (35) y resultando en la relación negativa entre severidad y rendimiento observada en este trabajo y ampliamente documentada en la literatura.

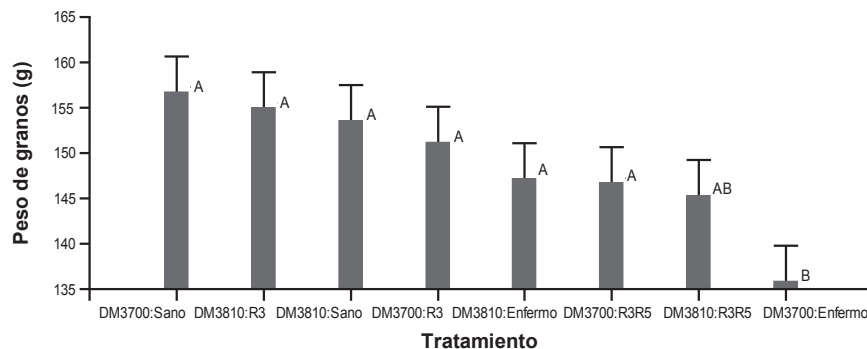
Considerando los componentes del rendimiento, tanto el NG como el PG del testigo enfermo DM3700 (1430 granos m<sup>-2</sup> y 136 g, respectivamente), fueron significativamente menores comparado con el tratamiento en el cual se aplicó fungicida

en R3 al mismo cultivar, exhibiendo éste último los valores más altos de ambas variables (2294 granos m<sup>2</sup> y 152 g, respectivamente) (figuras 2 y 3) y, por ende, también de Rto (figura 1, pág. 332) como fue señalado anteriormente.



**Figura 2.** Número de granos (m<sup>2</sup>) de las diferentes combinaciones de cultivar (DM3700 y DM3810) × tratamiento (testigo sano, aplicación en R3, aplicaciones en R3 y R5, testigo enfermo).

**Figure 2.** Grain number (m<sup>2</sup>) of the different cultivar (DM3700 and DM3810) × treatment (healthy control, application at R3, applications at R3 and R5, sick control) combinations.



**Figura 3.** Peso de granos (g) de las diferentes combinaciones de cultivar (DM3700 y DM3810) × tratamiento (testigo sano, aplicación en R3, aplicaciones en R3 y R5, testigo enfermo).

**Figure 3.** Grains weight (g) of the different cultivar (DM3700 and DM3810) × treatment (healthy control, application at R3, applications at R3 and R5, sick control) combinations.



En el testigo enfermo (sin aplicaciones) DM3700, el NG fue el componente más afectado disminuyendo 37,7% mientras que el PG también se redujo, pero en menor proporción (10,3%), ante aumentos de la severidad de MOR. Existe una fuerte base experimental que muestra que el NG del cultivo está limitado por la actividad de la fuente de fotoasimilados durante la etapa crítica R1–R5/R6 (21). En el testigo enfermo DM3700 la severidad de MOR fue la máxima registrada en el ensayo, pasando de 5 a 35% del área foliar verde dañada justo durante el período crítico para la determinación del número de granos, manifestándose en la fuerte caída de dicho componente.

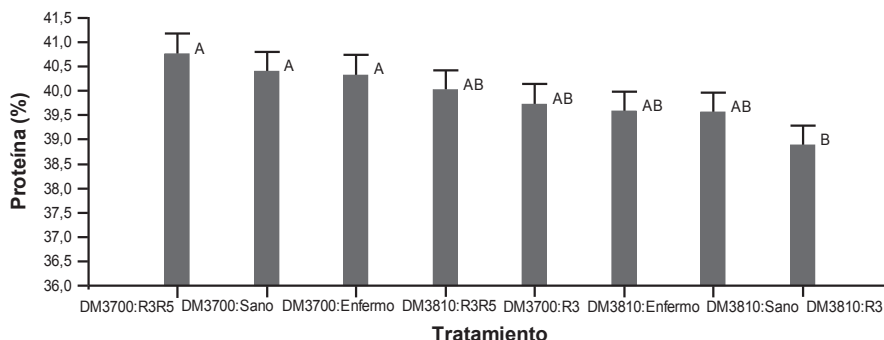
Existen trabajos que muestran diferentes respuestas de los componentes del rendimiento ante ataques de MOR. Canale *et al.* (7) observaron una disminución del 18% en el PG entre el testigo enfermo y los tratamientos con fungicida, mientras que no detectaron diferencias estadísticas significativas para el NG. Distéfano y Gabdán (15), si bien encontraron reducciones de ambos componentes del rendimiento en el testigo enfermo comparado con los tratamientos con fungicidas, señalaron que el PG disminuyó en mayor proporción que el NG (47% y 28%, respectivamente). La bibliografía, en general, es escasa y poco concluyente: algunos trabajos analizan solo el rendimiento (15, 24), mientras que otros incluyen PG pero no NG (1, 12, 26) lo que limita la interpretación de los resultados observados.

A pesar de que en el presente trabajo ambos componentes del rendimiento disminuyeron en el testigo enfermo DM3700, las reducciones en el NG fueron más pronunciadas que las del PG y, por lo tanto, disminuciones en el NG parecerían ser el principal componente de la pérdida de rendimiento. Esto coincide con lo observado por Kantolic *et al.* (21) respecto de que las variaciones en el NG en soja provocadas por distintos factores ambientales, en general están más estrechamente asociadas con cambios en el rendimiento ( $R^2=0,82$ ) comparado con las variaciones en el PG, cuya relación con el rendimiento no es tan robusta ( $R^2=0,39$ ).

Vilariño y Miralles (36) encontraron en soja con niveles de severidad de enfermedades de fin de ciclo bajos (< 2% en R6) incrementos de rendimiento atribuidos a estrobilurinas; también en cereales numerosos estudios observaron aumentos de rendimiento debido a la aplicación de estrobilurinas o triazoles en ausencia de enfermedades foliares (5, 8, 19, 20). No obstante, en el presente trabajo los cuatro tratamientos que involucraron DM3810 (que exhibieron ausencia de síntomas de MOR en las hojas) no presentaron diferencias estadísticamente significativas en lo referido al rendimiento y sus componentes (NG y PM) (figura 1, pág. 332; figuras 2 y 3, pág. 334). Por lo tanto, estos resultados apoyan las observaciones de trabajos recientes conducidos en Iowa (USA) que proporcionaron evidencias de que la aplicación de estrobilurinas o triazoles no necesariamente produce incrementos en el rendimiento, cuando las condiciones no son propicias para el desarrollo de enfermedades fúngicas foliares (32, 33).

### **Efectos de cultivar, tratamiento y de la interacción entre cultivar y tratamiento sobre la calidad del grano**

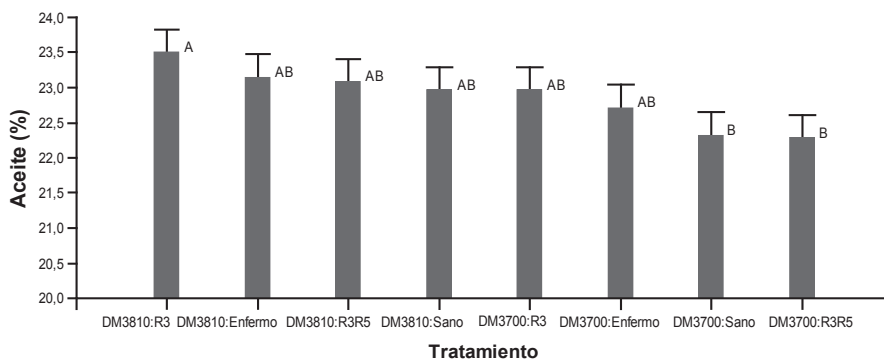
A diferencia de lo señalado para el rendimiento y sus componentes, no hubo interacción cultivar × tratamiento significativa para los componentes químicos del grano, Pr y Ac ( $p = 0,9982$  y  $0,9010$ , respectivamente) (figuras 4 y 5, pág. 336).



Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).  
 Different letters indicate statistically significant differences ( $p < 0.05$ ).

**Figura 4.** Concentración de proteína (porcentaje de materia seca) de las diferentes combinaciones de cultivar (DM3700 y DM3810) × tratamiento (testigo sano, aplicación en R3, aplicaciones en R3 y R5, testigo enfermo).

**Figure 4.** Protein concentration (percent of dry matter) of the different cultivar (DM3700 and DM3810) × treatment combinations (healthy control, application at R3, applications at R3 and R5, sick control).



Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).  
 Different letters indicate statistically significant differences ( $p < 0.05$ ).

**Figura 5.** Concentración de aceite (porcentaje de materia seca) de las diferentes combinaciones de cultivar (DM3700 y DM3810) × tratamiento (testigo sano, aplicación en R3, aplicaciones en R3 y R5, testigo enfermo).

**Figure 5.** Oil concentration (percent of dry matter) of the different cultivar (DM3700 and DM3810) × treatment (healthy control, application at R3, applications at R3 and R5, sick control) combinations.

Solo hubo diferencias estadísticas entre los cultivares ( $p < 0,05$ ), exhibiendo DM3810 el valor más alto de Ac (23,2%) y el más bajo de Pr (39,5%) comparado con DM3700 que tuvo un comportamiento inverso, alcanzando valores de 22,6% y 40,3% para Ac y Pr, respectivamente. Se observó una relación negativa entre porcentaje de Ac y Pr en los granos para todos los tratamientos ( $Y = -0,65 X + 48,98$ ;  $R^2 = 0,75$ ;  $p < 0,0001$ ). Aunque dicha correlación negativa entre ambas concentraciones ha sido ampliamente reportada en la literatura acerca de cultivos oleaginosos, más específicamente soja (37, 38), resulta importante destacar que no había sido observada con anterioridad para cultivos enfermos, atacados por una enfermedad necrotrófica de fin de ciclo como lo es MOR.

A pesar de ser *C. sojina* un patógeno necrotrófico cuya estrategia consiste en destruir la capacidad fotosintética afectando, por lo tanto, mucho más la acumulación de carbono que la de nitrógeno (14), no se observaron reducciones de la concentración de Ac cuya síntesis por la semilla depende principalmente de la fijación actual de carbono durante el llenado de granos (29). El aceite comienza a depositarse en el grano 15 a 20 días después de floración (31), alcanzando la tasa máxima de acumulación en la fase R5.5, es decir en la mitad del período del llenado de granos (alrededor de 35-37 días después de la floración) (39). En el presente estudio, 26 días después de floración (en R5) el porcentaje de área foliar dañada por MOR fue del 14,7%, mientras que el máximo valor de severidad fue observado a los 69 días después de floración (en R7) (en el tratamiento enfermo de DM3700). Por consiguiente, la falta de respuesta del aceite a la disminución del área foliar debido a MOR, tal vez pueda deberse al desfase entre el momento en que la tasa de acumulación de dicho componente es máxima y el momento en que la severidad de MOR fue la más alta. Estos resultados indican que una severidad de 14,7% alrededor de la fase R5.5 coincidente con el momento de máxima síntesis de aceite no sería suficiente para causar la reducción del mencionado componente. Esto sugiere la posibilidad de que los componentes químicos del grano, como el Ac, sean atributos más conservadores, a diferencia de lo que ocurre con el Rto y el NG, cuyo comportamiento es variable en función de las condiciones ambientales.

Aunque fue posible cuantificar las diferencias en el rendimiento y sus componentes en cultivares contrastantes en susceptibilidad al daño ocasionado por *C. sojina* ante el ataque de dicho patógeno, lo mismo no se logró cuando se analizaron los componentes químicos, aceite y proteína. Sería necesario aumentar el número de años y considerar otros aspectos, además de los reconocidos índices que cuantifican el grado de avance de la enfermedad (incidencia y severidad), como por ejemplo el IAF, principalmente cuando este parámetro se encuentra por debajo de su valor crítico durante el período crítico para la definición del rendimiento. A la vez sería interesante analizar cómo se afecta la relación fuente/destino en la planta. Estos aspectos ayudarían a esclarecer en qué proporción se ven afectados los distintos compuestos químicos ante un ataque de MOR y comprender las bases ecofisiológicas que explican las variaciones en la composición química del grano de soja atribuidas a *C. sojina*.

## CONCLUSIONES

- Si bien, tanto el NG como el PG disminuyeron en el testigo enfermo DM3700, las reducciones en el NG fueron más pronunciadas que las del PG, y por lo tanto, la disminución en el NG fue el principal componente de la pérdida de rendimiento por la enfermedad.
- La severidad máxima alcanzada por MOR (35% en el cultivar susceptible) no fue suficiente como para causar modificaciones en la concentración de Ac y Pr, sugiriendo la posibilidad de que bajo condiciones de baja a moderada severidad los componentes químicos como el Ac sean atributos más conservadores comparados con Rto y NG.
- En el área de estudio, en un año en el cual se prevé que las condiciones climáticas podrían no favorecer el progreso acelerado de la enfermedad (según el pronóstico anticipado del clima para la campaña), la elección de un cultivar resistente como lo es DM3810 sería suficiente, sin tener que recurrir a aplicaciones de productos químicos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. 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*. 101: 183-187.
2. Akem, C. N.; Dashiell, K. E. 1994. Effect of planting date on severity of frogeye leaf spot and grain yield of soybeans. *Crop Protection*. 13: 607-610.
3. American Association of Cereal Chemists (AACC). 2000. 10<sup>th</sup> ed. Approved methods of the AACC. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.
4. Arias, N.; Ferdman, L.; De Battista, J. 2004. Uso de fungicidas para el control de enfermedades de fin de ciclo en soja. Serie producción vegetal INTA EEA Concepción del Uruguay. Boletín técnico. 45: 71-76.
5. Bayles, R. A.; Hilton G. J. 2000. Variety as a factor in the response of cereals to strobilurins. In: The Proceedings of the BCPC Conference, Brighton, UK. Nov. 2000. British Crop Production Council, Hampshire, UK. 2: 13-16.
6. Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes (CASAFE). 2011. 15° ed. Guía de productos fitosanitarios para la República Argentina. Buenos Aires. 1976 p.
7. Canale, A.; Salafia, A.; Blanco, P.; Acotto, R. 2010. Evaluación de rendimiento y calidad de grano en soja tratada con diferentes fungicidas foliares para el control de mancha ojo de rana en el sur de Córdoba. II Congreso Argentino de Fitopatología, Mar del Plata, Buenos Aires. p. 24-36.
8. Carmona, M. A.; Scandiani, M. M. 2009. Sorpresivas epidemias de la mancha ojo de rana en lotes de soja durante 2009. Disponible en: <http://www.aapresid.org.ar>
9. Carmona, M. A.; Formento, A. N.; Scandiani M. M. 2010. Mancha ojo de rana. Buenos Aires. Ed. Horizonte A. 48 p.
10. Carmona, M. A.; 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. *Summa Phytopathologica*. 37: 134-139.
11. Carrera, C.; Martínez, M. J.; Dardanelli, J.; Balzarini, M. 2009. Water deficit effect on the relationship between temperature during the seed filling period and soybean seed oil and protein concentrations. *Crop Science*. 49: 990-998.
12. Dashiell, K. E.; Akem C. N. 1991. Yield losses in soybeans from frogeye leaf spot caused by *Cercospora sojina*. *Crop Protection*. 10: 465-468.
13. Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; Gonzalez, L.; Tablada, M.; Robledo, C. W. 2011. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.

14. Dimmock, J. P. R.; Gooding, E. M. J. 2002. The influence of foliar diseases, and their control by fungicides, on the protein concentration in wheat grain: a review. *Journal of Agricultural Science*. 138: 349-366.
15. Distéfano, S. G.; Gadbán, L. C. 2009. Efecto de la aplicación de fungicidas foliares de distintos grupos químicos en diferentes estadios fenológicos del cultivo de soja sobre la intensidad de mancha ojo de rana (*Cercospora sojina*) y los componentes del rendimiento. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/mjuarez/info/documentos/soja/fungimor10.pdf>
16. Distéfano, S. G.; Lenzi, L. G.; Gadban, L. C.; Fuentes, F. H. 2010. Evaluación de cultivares de soja frente a "mancha ojo de rana" (*Cercospora sojina* K. Hara). Disponible en: <http://inta.gov.ar/documentos/evaluacion-de-cultivares-de-soja-frente-a-201cmancha-ojo-de-rana201d-cercospora-sojina-hara-2010/>
17. Fehr, W. R.; Caviness, C. E. 1977. Stages of soybean development. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11 p. (Special report, 80).
18. Fuentes, F.; Distéfano, S. G.; Gadban, L. C. 2010. Evaluación de cultivares de la RECSO frente a "Mancha Ojo de Rana" (*C. sojina*). Disponible en: <http://anterior.inta.gov.ar/ff/?url=http://anterior.inta.gov.ar/mjuarez/info/documentos/soja/recso10res.htm>
19. Grossmann, K.; Retzlaff, G. 1997. Bioregulatory effects of the fungicidal strobilurin kresoxim-methyl in wheat (*Triticum aestivum*). *Pesticide Science*. 50: 11-20.
20. Grossmann, K.; Kwaltowski, J.; Caspar, G. 1999. Regulation of phytohormone levels, leaf senescence and transpiration by the strobilurin kresoximethyl in wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Plant Physiology* 154: 805-808.
21. Kantolic, A. G.; Giménez, P. I.; de la Fuente, E. B. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en soja. En: Satorre, E. H.; Benech Arnold, R. L.; Slafer, G. A.; de la Fuente, E. B.; Miralles, D. J.; Otegui, M. E.; Savin, R. (eds.). Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Buenos Aires. Edit. Facultad de Agronomía. p. 167-186.
22. Kantolic, A. G.; Carmona, M. A. 2005. Bases ecofisiológicas de la generación de rendimiento: relación con el efecto de las enfermedades foliares y el uso de fungicidas en el cultivo de soja. En: Manual para ao manejo das doencas da soja. Passo Fundo, Brasil. Ed. Universidade de Passo Fundo.
23. McRoberts, N.; Hughes, G.; Madden, L. V. 2003. The theoretical basis and practical application of relationships between different disease intensity measurements in plants. *Annals of Applied Biology*. 142: 191-211.
24. Mian, M. A. R.; Boerma, H. R.; Phillips, D. V.; Kenty, M. M.; Shannon, G.; Shipe, E. R.; Soffes Blount, A. R.; Weaver, D. B. 1998. Performance of frog-eye leaf spot resistant and susceptible near isolines of soybean. *Plant disease*. 82: 1017-1021.
25. Mian, M. A.; Missaoui, A. M.; Walker, D. R.; Phillips, D. V.; Boerma, H. R. 2008. Frog-eye leaf spot of soybean: A review and proposed race designations for isolates of *Cercospora sojina* Hara. *Crop Science*. 48: 14-24.
26. Mwase, W. F.; Kapooria, R. G. 2001. Incidence and severity of frog-eye leaf spot and associated yield losses in soybeans in agroecological zone II of Zambia. *Mycopathologia*. 149: 73-78.
27. Ploper, L. D.; Gonzalez, V.; Galvez, R.; Devani, M.; Ledesma, F. 2000. La mancha ojo de rana. Otra enfermedad limitante del cultivo de la soja. *Avance Agroindustrial*. 21(2): 9-12.
28. R Development Core Team. 2010. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>
29. Rotundo, J. L.; Westgate, M. E. 2008. Meta-analysis of environmental effects on soybean seed composition. *Field Crops Research*. 110: 147-156.
30. Ruske R. E.; Gooding, M. J.; Pepler, S.; Froggatt, P. 2001. Nitrogen accumulation in grains of winter wheat in response to strobilurin fungicides. *Aspects of Applied Biology*. 64: 227-234.
31. Sale P. W. G.; Campbell, L. C. 1980. Changes in physical characters and composition of Soybean seed during crop development. *Field Crops Research*. 3: 147-155.
32. Soto-Arias, J. P.; Munkvold, G. P. 2011. Impacts of foliar fungicides on infection of soybean by *Phomopsis* spp. in Iowa, USA. *Crop Protection*. 30: 577-580.
33. Swoboda, C.; Pedersen, P. 2009. Effect of fungicide on soybean growth and yield. *Agronomy Journal*. 101: 352-356.
34. Urbaniak, G. C.; Plous, S. 2011. Research Randomizer (Version 3.0). Computer software. Retrieved on April 22, 2011, from <http://www.randomizer.org/>
35. Vilaríño, M. P.; Miralles, D. J. 2006. Respuestas fisiológicas a la aplicación de fungicidas (triazoles y estrobilurinas) en soja, sobre la generación de biomasa y el rendimiento. Resúmenes Expandidos del III Congreso de Soja del Mersosur. Rosario 27-30 de junio de 2006. p. 388-391.

36. Vilarriño, M. P.; Miralles, D. J. 2008. Incrementos en la duración del área foliar en soja con la aplicación de Pyraclostrobin más Epoxiconazole en llenado de granos. Impacto sobre el rendimiento y sus componentes. Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. [http://www.agro.basf.com.ar/images/todos\\_topciencia2008.pdf](http://www.agro.basf.com.ar/images/todos_topciencia2008.pdf)
37. Wilcox, J. R.; Cavins, J. F. 1995. Backcrossing high seed protein to a soybean cultivar. *Crop Science*. 35:1036-1041.
38. Wilcox, J. R.; Shibles, R. M. 2001. Interrelationships among seed quality attributes in soybean. *Crop Science*. 41: 11-14.
39. Wilson, R. 2004. Seed composition. In: Stewart, B. A.; Nielsen, D. R. (eds.). 3<sup>rd</sup> ed. Soybeans: Improvement, production and uses. Agronomy Monograph 16. ASSA, CSSA, and SSSA, Madison. Wisconsin, USA . p. 621-677.
40. Yang, W.; Weaver, D. B. 2001. Resistance to Frogeye Leaf Spot in Maturity Groups VI and VII of Soybean Germplasm. *Crop Science*. 41: 549-552.

### **Agradecimientos**

A la empresa Aceitera General Dehesa S. A. (AGD) y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) de Argentina que aportaron los fondos que permitieron la realización de este trabajo.

A los investigadores Daniel Miralles, Deborah Rondanini y Julio Dardanelli por el aporte de sus conocimientos en la realización del ensayo, en la interpretación de los resultados y en la lectura crítica del manuscrito.

A Julio Di Rienzo por sus sugerencias útiles sobre los análisis estadísticos.