

## MANEJO DE LA NUTRICIÓN DE N, P Y K EN SOJA Y SU INFLUENCIA SOBRE LA INTERACCIÓN *GLYCINE MAX – PHAKOPSORA PACHYRHIZI*

MAUMARY, R. L.<sup>1</sup>; MARTIN, L. S.<sup>1</sup>; HERZOG, L. J.<sup>1</sup> & BOUZO, C.<sup>1</sup>

### RESUMEN

Una de las limitaciones del cultivo de soja en Argentina es la roya asiática de la soja (RAS) causada por el hongo biotrófico *Phakopsora pachyrhizi*. La intensidad de la RAS está condicionada por diversos factores, en los que se halla la nutrición mineral. El propósito de esta investigación es evaluar la influencia del nitrógeno, potasio y fósforo sobre la interacción *Glycine max–Phakopsora pachyrhizi*. Plantas de soja fueron inoculadas artificialmente con el patógeno y sometidas a diferentes tratamientos nutricionales: testigo (concentraciones óptimas de fósforo, nitrógeno y potasio), nitrógeno deficiente, potasio deficiente y fósforo deficiente. Se evaluaron incidencia (%), severidad (%), tamaño de lesiones (mm<sup>2</sup>), número de lesiones por cm<sup>2</sup> y número de urediniosoros por lesión. El porcentaje máximo de incidencia (91,67%) se observó en plantas testigo no presentando diferencia estadísticamente significativa respecto al máximo valor observado en el resto de los tratamientos. En tanto, el mayor porcentaje de severidad promedio (9,2%) se halló en plantas deficientes en potasio mostrando diferencias estadísticamente significativas respecto al resto de los tratamientos. Los demás parámetros determinados fueron similares en los diversos tratamientos.

*Palabras claves:* fósforo, nitrógeno, *Phakopsora pachyrhizi*, potasio, *Glycine max*.

### SUMMARY

#### **Handling of the nutrition in n, p and k in soybean and your influence on the *glycine max – phakopsora pachyrhizi* interaction.**

One of the limitations of soybean cultivation in Argentina is the soybean asiatic rust (RAS) caused by the biotrophic fungus *Phakopsora pachyrhizi*. The intensity of the RAS is conditioned by diverse factors, in which it is found the mineral nutrition. The purpose of this research is to evaluate the influence of phosphorous, potassium and nitrogen on *Phakopsora pachyrhizi- Glycine max* interaction. Soybean plants were inoculated artificially with the pathogen and were subjected to different nutrition

---

1.- Laboratorio de Biología Aplicada. Facultad de Ciencia sAgrarias, Universidad Nacional del Litoral. Kreder 2805. (3080) Esperanza, provincia de Santa Fe. e-mail: roxilm@yahoo.com.ar

Manuscrito recibido el 15 de octubre de 2008 y aceptado para su publicación el 31 de marzo de 2009.

treatments: control (right concentrations of potassium, nitrogen and phosphorous), deficient nitrogen, deficient potassium and deficient phosphorous. Size of lesions (mm<sup>2</sup>), number of lesions for cm<sup>2</sup>, number of urediniosoros for lesion, severity (%) and incidence (%) were evaluated. Highest percentage of incidence (91,67%) was observed in control plants not presenting statistically significant difference with respect to the maximum value observed in the rest of the treatments. In the meantime, high percentage of average severity (9,2%) was found in deficient plants in potassium showing statistically significant differences with respect to the rest of the treatments. Other determined parameters were similar in the diverse treatments.

*Key words:* nitrogen, *Phakopsora pachyrhizi*, phosphorous, potassium, *Glycine max*.

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de soja (*Glycine max*) constituye actualmente el más importante de Argentina. Entre las principales limitantes de este cultivo deben mencionarse a las enfermedades y entre ellas, a la roya de la soja causada por *Phakopsora pachyrhizi* (Carmona, 2005). Ésta es una enfermedad de alto potencial destructivo que provoca una maduración anticipada de las plantas y una reducción de los rendimientos (número de vainas, número de granos y peso de los mismos) y/o calidad de las semillas (Ivancovich & Botta, 2002).

La roya de la soja es causada por dos especies de hongos: *P. pachyrhizi* (Syd.), originaria de Asia (RAS), y *P. meibomiae* (Art.), originaria de Sudamérica (RSS). La especie asiática es más virulenta y agresiva que la sudamericana, por lo tanto se le atribuye mayores daños económicos (Ivancovich & Botta, 2002).

*P. pachyrhizi* es un hongo biotrófico, sólo infecta y se nutre de tejidos vivos; fuera de la época de cultivo, su principal forma de supervivencia es sobre plantas de soja “voluntaria” (Formento *et al.*, 2004; Pioli *et al.*, 2005) y hospedantes alternativos (Carmona *et al.*, 2003; Ivancovich *et al.*, 2003; Begenisic *et al.*, 2004; Formento *et al.*, 2004; De Souza

*et al.*, 2005). Otras características importantes a considerar son que se trata de un patógeno policíclico, es decir, que durante un ciclo del cultivo se producen varios ciclos del patógeno y que esta especie posee la capacidad de penetración directa en la epidermis mediante una estructura especializada (apresorio). Estas características hacen que la infección sea rápida y eficaz, desarrollándose muy velozmente la enfermedad si se presentan períodos prolongados de mojado foliar con un mínimo de 6hs. de rocío o agua libre en el follaje (Ploper, 2004) y temperaturas de moderadas a frescas (16°C a 24°C) (Ivancovich & Botta, 2002). Avanzato (2006) en ensayos para el desarrollo de un sistema de inoculación in vitro con urediniosporas de *P. pachyrhizi*, probó la exposición de las plantas inoculadas con urediniosporas conservadas durante seis meses a -18°C y oscuridad y una viabilidad promedio de 36%, obtuvo resultados de porcentaje de germinación de las urediniosporas obtenidas, producto de la inoculación y conservadas durante un mes a -18°C, de 60%. Considerándose el % de germinación como variable indicativa de la viabilidad de las urediniosporas. Esto indica que además de las condiciones óptimas necesarias para la evolución de la enfermedad a campo, existen condiciones que permiten el mantenimiento, reproducción de la enferme-

dad, multiplicación y caracterizaciones de inóculo proveniente de distintas regiones del país y sus reacciones sobre el hospedante. De igual forma fue detectada en plantas voluntarias en gran parte del área núcleo sojera argentina, sobreviviendo a sucesivas heladas agroclimáticas (Formento & De Souza, 2006).

La soja es susceptible al patógeno durante todo el ciclo del cultivo, pero los síntomas iniciales se hacen más evidentes en las hojas inferiores de plantas próximas a la floración y se visualizan especialmente en el envés de los folíolos, progresando desde las hojas inferiores hacia las superiores (Reis & Carmona, 2004). Los síntomas comienzan a registrarse como manchas cloróticas, difíciles de observar, que luego se necrosan. Sobre estas lesiones necróticas, pueden verse las pústulas uredinosóricas o uredinosoros (cuerpos fructíferos que representan los signos de la enfermedad) (Gally, 2007). A través del poro central de cada uredinosoro son exudadas las uredinosporas, las cuales tienen una larga supervivencia fuera del hospedante y se dispersan muy eficientemente a través del viento, por lo que son consideradas como las estructuras de diseminación de la enfermedad (Reis & Carmona, 2004).

La intensidad y severidad de los ataques de la RAS están condicionadas por diversos factores bióticos y abióticos que influyen directa o indirectamente sobre la evolución de la enfermedad (Silva Acuña *et al.*, 2000). Es decir que, a pesar de que la resistencia y tolerancia están controladas genéticamente, son considerablemente influenciadas por los factores del ambiente (Instituto de Nutrición de Plantas, 1995). Dentro de estos factores, la nutrición mineral desempeña un papel importante en la expresión de resistencia o susceptibilidad de la planta a la enfermedad, ya que los elementos minerales están

involucrados en todos los mecanismos de defensa como componentes integrales o activados, inhibidores y reguladores del metabolismo (Silva Acuña *et al.*, 2000). Por lo tanto, la nutrición mineral constituye un punto fundamental, complementario a una serie de actividades que el hombre realiza, para hacer frente al ataque de patógenos (Velasco, 1999).

Existen 18 elementos que se consideran esenciales para el cultivo de soja:

- Nutrientes no minerales: carbono, hidrógeno y oxígeno. Son macronutrientes y se obtienen o absorben como CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y O<sub>2</sub> libre atmosférico.

- Nutrientes minerales: Son obtenidos del suelo y en el caso del nitrógeno, también del aire por el proceso de fijación. Pueden ser subdivididos en:

1. Macronutrientes primarios: nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K).

2. Macronutrientes secundarios: calcio, magnesio y azufre.

3. Micronutrientes: hierro, manganeso, molibdeno, cobre, boro, zinc, cloro, cobalto y níquel (Baigorri, 2005).

El rango óptimo de nitrógeno, fósforo y potasio para el desarrollo de la soja es de 150-250 ppm, 30-50 ppm y 200-300 ppm, respectivamente (Rodríguez *et al.*, 2001).

El objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar la influencia de los niveles óptimos y deficientes de K, P y N sobre la interacción *P. pachyrhizi* – *Glycine max* mediante evaluación de los parámetros epidemiológicos globales como incidencia y severidad y parámetros específicos como tamaño de lesiones, número de lesiones por cm<sup>2</sup> y número de uredinosoros por lesión que determinan la intensidad de la enfermedad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### **Obtención, mantenimiento y caracterización del inóculo fúngico**

Las urediniosporas de *P. pachyrhizi*, se recolectaron de plantas de soja pertenecientes a lotes comerciales de productores ubicados en la zona centro-norte de la provincia de Santa Fe, que forman parte del Programa RiiA (Red de Información de Interés Agronómico). Las plantas extraídas se colocaban en bolsas cerradas herméticamente para conservar la humedad hasta ser procesadas. De cada planta se extrajeron los folíolos de los distintos estratos que presentaron síntomas dudosos de la enfermedad (Astegiano *et al.*, 2005).

Posteriormente fueron observados en laboratorio con lupa estereoscópica de 20-40X para la correspondiente caracterización macro y micro morfológica de síntomas y signos de *P. pachyrhizi*, y aquellos con presencia de pústulas urediniosóricas se utilizaron para extraer las urediniosporas (esporas de diseminación) utilizadas en el desarrollo del experimento. Las mismas se preservaron de acuerdo a las técnicas para obtención y conservación de patógenos biotróficos (Marchetti *et al.*, 1976).

### **Desarrollo de plantas**

Se utilizaron semillas de soja original de GM IV variedad NA 4613. Previo a la siembra se llevó a cabo el proceso de pre germinado de las mismas que consistió en colocar aproximadamente 60 semillas en bandejas plásticas previamente desinfectadas conteniendo papel de filtro embebido en agua sobre una capa de algodón para mantener las condiciones de humedad requerida a tal fin. A continuación, las bandejas se colocaron en estufa de germinación bajo condiciones de oscuridad continua, a una temperatura de  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  durante 96 horas (Copati Souza, 2001).

Para el desarrollo de los tratamientos, se colocaron 2 semillas pregerminadas en macetas de plástico de 300 cc., conteniendo vermiculita como sustrato inerte. Posteriormente se depositaron sobre bandejas metálicas, debidamente identificadas, para facilitar la recolección del excedente de solución nutritiva de cada tratamiento.

Las plantas continuaron su desarrollo en cámara de crecimiento (3m x 2m) bajo condiciones controladas de temperatura, nocturna y diurna,  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , respectivamente; humedad relativa ambiente de 60-70% y fotoperíodo de 16 hs. de luz y 8 hs. de oscuridad. Se mantuvo una frecuencia de riego diaria con cada una de las soluciones correspondiente a los tratamientos realizados en este experimento:

1. Tratamiento Testigo: Riego de plantas con solución nutritiva con concentraciones óptimas de nitrógeno(210 ppm) , fósforo (43 ppm) y potasio (270 ppm).

2. Tratamiento Bajo Nitrógeno: Riego de plantas con solución nutritiva con concentraciones subóptimas de nitrógeno comparado con la solución testigo. 118 ppm de N, 46 ppm de P y 270 ppm de K

3. Tratamiento Bajo Potasio: Riego de plantas con solución nutritiva con concentraciones subóptimas de potasio comparado con la solución testigo. 204 ppm de N, 43 ppm de P y 78 ppm de K.

4. Tratamiento Bajo Fósforo: Riego de plantas con solución nutritiva con concentraciones subóptimas de fósforo comparado con la solución testigo. 210 ppm de N, 12 ppm de P y 270 ppm de K

En este experimento se utilizó un diseño completamente aleatorizado con 3 repeticiones.

### **Inoculación con el patógeno**

Para la inoculación se seleccionaron folíolos infectados conteniendo la misma densidad de pústulas (38-45 pústulas/cm<sup>2</sup>) y

que se encuentren en similares estados de madurez. Al momento de efectuarse el procedimiento, las plantas del tratamiento testigo se encontraban en estado fenológico V4 (4 nudos sobre el tallo principal con hojas totalmente desarrolladas comenzando con el nudo de las unifolioladas) según escala de Fher y Caviness (1977), mientras que el resto de los tratamientos habían alcanzado el estado V2-V3 (2-3 nudos sobre el tallo principal con hojas totalmente desarrolladas comenzando con el nudo de las unifolioladas). Para la inoculación se seleccionaron hojas trifolioladas completamente desplegadas y se utilizó el método de barrido de esporas (Jauch, 1979). A los fines de estimular el proceso de infección, previa inoculación, los folíolos se pulverizaron con agua utilizando un nebulizador manual, e inmediatamente después se procedió a barrer las urediniosporas de manera uniforme sobre toda el área foliar seleccionada. Las plantas inoculadas se cubrieron con bolsas de nylon con orificios, previamente humedecidas en su interior, para proveer condiciones de 100% de humedad (Stewart *et al.*, 2005) y mojado foliar adecuadas para estimular el proceso de infección. Durante las primeras 6 hs. post-inoculación se mantuvo el efecto de mojado foliar en las hojas inoculadas, mediante pulverizaciones manuales de manera tal de darle al patógeno las condiciones ideales para la infección (Ploper, 2004; Ugalde *et al.*, 2004).

### **Determinación del tamaño de lesiones, número de lesiones por cm<sup>2</sup> y número de urediniosoros por lesión**

A los fines de determinar la intensidad de la enfermedad, con el auxilio de una lupa de 20-40X, se cuantificaron: i) El tamaño de lesiones, como promedio de 10 datos tomados al azar por planta, ii) el número de lesiones por cm<sup>2</sup> como promedio de 10 datos por planta a los 12 días post- inoculación y iii) el número promedio de urediniosoros por lesión como promedio de 15 lesiones por planta a los 18 días post-inoculación. Estas mediciones se determinaron para cada tratamiento y en todos los casos, la observación de datos se hizo de manera aleatoria (Melching *et al.*, 1988) (Carmona *et al.*, 2004) (Bonde *et al.*, 2006).

### **Evaluación de parámetros epidemiológicos**

En cada planta se evaluó el parámetro de *incidencia* en porcentaje determinado como la cantidad de folíolos infectados / total de folíolos evaluados x 100 y la *severidad* promedio como porcentaje de tejido foliar afectado sobre el total de tejido evaluado usando una escala de 1-5 (Astegiano *et al.*, 2005). Estos parámetros se midieron en el laboratorio semanalmente, por tratamiento y con el apoyo de una lupa estereoscópica de 20-40X (Pioli *et al.*, 2005)

*Cuadro 1: Escala de enfermedad propuesta por Ploper et al. (2006) para la evaluación del porcentaje de área foliar afectada por la RAS.*

Grado	Porcentaje de área afectada	Nivel de enfermedad
1	0	Ausencia
1,5	< 1,5	Trazas
2	1,6 -- 5	Leve
3	6 -- 25	Moderado
4	26 -- 50	Severo
5	> 50	Muy severo

### **Análisis de datos**

En el análisis estadístico de los datos registrados para los diversos tratamientos, se utilizó el programa INFOTAD/Profesional-Versión 2007p. Se efectuaron análisis de varianza (ANOVA) y test de Tukey para la comparación de medias con un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ .

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Determinación del tamaño de lesiones, número de lesiones por cm<sup>2</sup> y número de urediniosoros por lesión**

Según los datos del Cuadro 2, los valores de tamaño de lesiones de los distintos tratamientos, mostraron diferencias con los presentados por Melching *et al.*, (1988) que propusieron un intervalo promedio de área de 0,27 a 0,40 mm<sup>2</sup> luego de examinar 10 lesiones desarrolladas sobre los folíolos a los 18 días posteriores a la inoculación.

Con respecto a los valores del número promedio de urediniosoros por lesión en cada tratamiento, los mismos concordaron con los obtenidos por Melching *et al.*, (1988) que propusieron un rango de 2,2 a 4,7 urediniosoros por lesión a los 18 días post-

inoculación y con los obtenidos por Pioli *et al.*, (2004) que establecieron un rango de 1 a 6 urediniosoros por lesión. También Carmona (2004) en un ensayo de cuantificación y caracterización morfológica de la roya asiática de la soja en tres provincias de Argentina (Chaco, Salta y Santiago del Estero), obtuvo valores máximos de 6-5,5 y mínimos de 2,8 uredinios promedio por lesión. Formento *et al.*, (2005) en ensayos de pruebas de control de la roya asiática de la soja, indican que una lesión causada por *P. pachyrhizi* puede poseer de 1 a 16 “volcanes” o urediniosoros.

Los valores de número de lesiones por cm<sup>2</sup> para las plantas tratadas (la edad de las plantas testigo era de 24 días cuando fueron inoculadas y la edad de las plantas pertenecientes a los otros tratamientos era de 27 días cuando fueron inoculadas) se aproximan a los obtenidos por Melching *et al.*, (1988) que propusieron un intervalo de 2,4 a 7,5 lesiones por cm<sup>2</sup>, luego de 12 días desde de la inoculación, en plantas de soja de 25 días de edad cuando fueron inoculadas.

Como se puede observar en los siguientes cuadros, las variables mencionadas anteriormente no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los diversos tratamientos evaluados.

Cuadro 2: Estadística descriptiva de los resultados obtenidos para el número de lesiones por cm<sup>2</sup>, tamaño de lesiones y número promedio de urediniosoros por lesión en los distintos tratamientos nutricionales.

Tratamiento	Nº de lesiones/ cm <sup>2</sup> ± Desv.	Tamaño de lesiones (mm <sup>2</sup> ) ± Desv.	Nº promedio de urediniosoros/lesión ± Desv.
Testigo	2,00 ± 1,00	0,53 ± 0,14	3,33 ± 0,58
Bajo N	3,33 ± 0,58	0,79 ± 0,15	3,67 ± 0,58
Bajo P	2,67 ± 1,53	0,68 ± 0,05	2,67 ± 0,58
Bajo K	3,33 ± 0,58	0,74 ± 0,25	3,33 ± 0,58

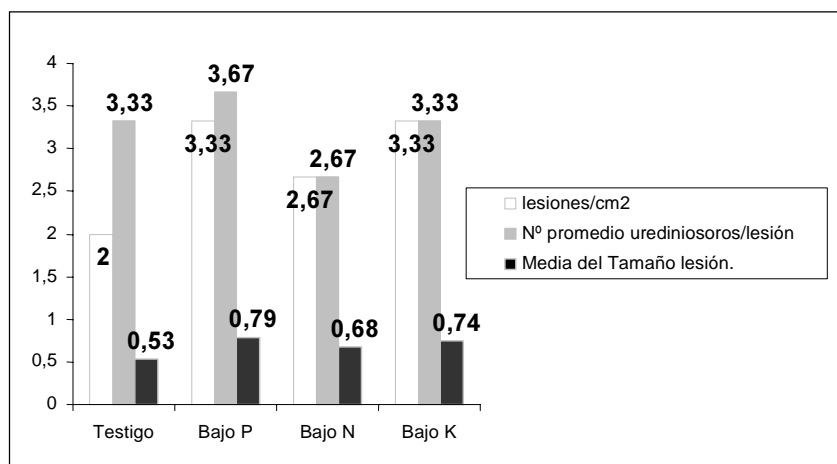


Fig. 1: Número de lesiones por cm<sup>2</sup>, Número promedio de urediniosoros por lesión y Tamaño de lesiones en folíolos de plantas de soja inoculadas artificialmente con *Phakopsora pachyrhizi* vs. Tratamientos nutricionales en estudio.

Cuadro 3: Media del tamaño de lesiones cuantificadas en los diferentes tratamientos

Variable	Tratamiento	Media	
Tamaño de lesiones	Testigo	0,53	A
Tamaño de lesiones	Bajo P	0,68	A
Tamaño de lesiones	Bajo K	0,74	A
Tamaño de lesiones	Bajo N	0,79	A
Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según test de comparaciones múltiples de Tuckey DMS=0,42733			

Cuadro 4: Media del número de urediniosoros / lesión cuantificados en los diferentes tratamientos.

Variable	Tratamiento	Media	
urediniosoros/lesión	Bajo P	2,67	A
urediniosoros/lesión	Bajo K	3,33	A
urediniosoros/lesión	Testigo	3,33	A
urediniosoros/lesión	Bajo N	3,67	A
Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según test de comparaciones múltiples de Tuckey DMS=1,50967			

### Evaluación de parámetros epidemiológicos

Los valores máximos alcanzados para la incidencia de la enfermedad según los diferentes tratamientos nutricionales fueron:

1. Tratamiento Testigo: 91,67 % de folíolos infectados.
2. Tratamiento Bajo N: 74,97 % de folíolos infectados.
3. Tratamiento Bajo P: 63,87 % de folíolos infectados.
4. Tratamiento Bajo K: 77,73 % de folíolos infectados.

Estos valores coinciden aproximadamente con los obtenidos por Pioli *et al.*, (2004) que determinaron un rango de 60 a 100 % de incidencia de la enfermedad en lotes de soja de productores. Al respecto Carmona *et al.*, (2004) obtuvieron valores de incidencia muy similares (100%) a los del presente trabajo, evaluando cultivos de soja a campo en la etapa fenológica R5,5-R6 para la roya asiática de la soja.

En la Fig. 2 se puede observar la evolución temporal de la incidencia de la enfermedad para los distintos tratamientos:

Cuadro 5: Media del número de lesiones / cm<sup>2</sup> cuantificados en los diferentes tratamientos.

Variable	Tratamiento	Media	
lesiones /cm <sup>2</sup>	Testigo	2	A
lesiones / cm <sup>2</sup>	Bajo P	2,67	A
lesiones / cm <sup>2</sup>	Bajo N	3,33	A
lesiones / cm <sup>2</sup>	Bajo K	3,33	A
Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05) según test de comparaciones múltiples de Tuckey DMS=2,61482			

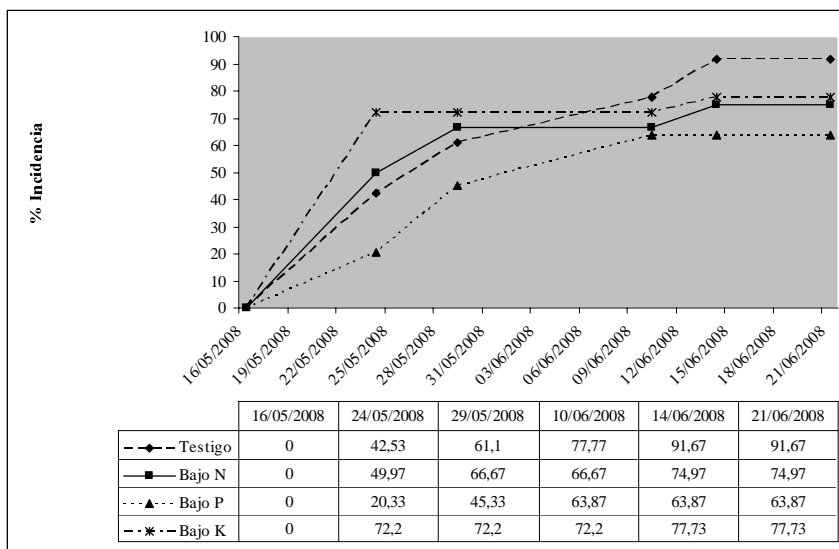


Fig. 2: Porcentaje de incidencia foliar de la enfermedad en plantas de soja infectadas con la RAS para los distintos tratamientos nutricionales evaluados vs. Fechas de observación.



En la segunda fecha de observación, el porcentaje de incidencia en las plantas bajo tratamiento Testigo mostró una diferencia estadísticamente significativa con los hallados en los tratamientos con deficiencia en P y en K. Mientras que, en la tercer fecha, el porcentaje de incidencia de la enfermedad en plantas sometidas a déficit de P mostró una diferencia significativa con respecto al determinado en las plantas del tratamiento Bajo K.

Esto pudo deberse, en gran parte, al mejor estado general y de desarrollo alcanzado por las plantas sometidas a condiciones óptimas de aporte de N, P, K, a diferencia de las que fueron expuestas a condiciones subóptimas de los tres macro nutrientes esenciales mostrando una defoliación anticipada y retraso en el desarrollo. Según Dreccer *et al.*, (2003), las deficiencias de N o P alteran la dinámica de expansión y senescencia del área foliar verde y, por lo tanto, afectan la fracción de radiación interceptada por el cultivo. En general, los efectos de los nutrientes sobre el comportamiento de la soja frente a la ocurrencia de enfermedades sería en algu-

nos casos, según Diaz-Zorita (2006), explicados por efectos directos de control de los patógenos mientras que en la mayoría indirectos a partir de mejoras en las condiciones de crecimiento de las planta.

Para cada tratamiento evaluado, la máxima severidad promedio alcanzada en la última fecha de evaluación fue:

1. Tratamiento Testigo: 4,9 % de tejido foliar afectado.
2. Tratamiento Bajo N: 4,6 % de tejido foliar afectado.
3. Tratamiento Bajo P: 1,2% de tejido foliar afectado.
4. Tratamiento Bajo K: 9,2 % de tejido foliar afectado.

Estos valores, según el cuadro 1, se encuentran en un grado 2 para el tratamiento Testigo, Bajo N y Bajo P y en un nivel de enfermedad leve. Sin embargo, el tratamiento Bajo K se ubica en un grado 3 indicando un nivel de enfermedad moderado.

En la Fig. 3 se puede observar la curva de evolución de la severidad de la enfermedad según los tratamientos nutricionales:

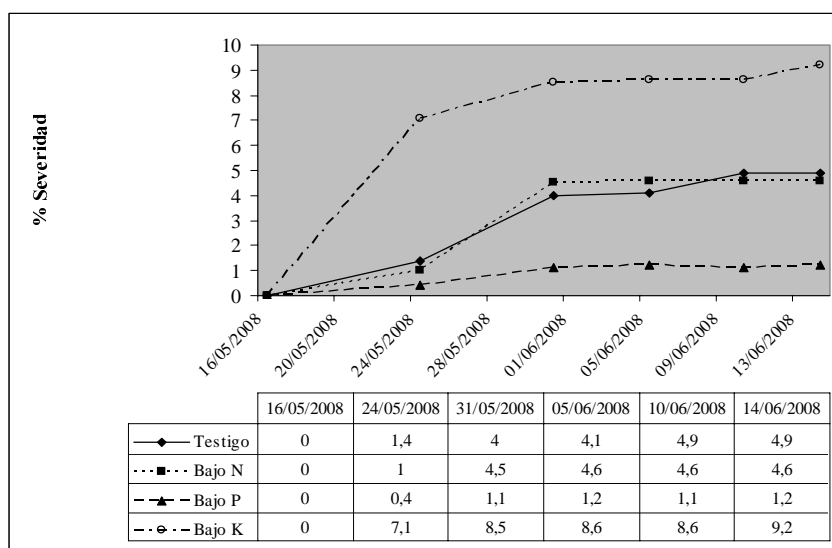


Fig. 3: Porcentaje de severidad promedio de la enfermedad en plantas de soja infectadas con la RAS para los distintos tratamientos nutricionales evaluados vs. Fechas de observación.

Se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre los valores de porcentaje de severidad promedio de las plantas sometidas a los tratamientos Testigo, Bajo K y Bajo P. Arrojando los valores de menor severidad el tratamiento con condiciones subóptimas de nutrición con P (1,2%) y el de mayor severidad el de bajo K (9,2%). Los resultados obtenidos se relacionan con lo expuesto por Dordas (2008) en un artículo donde resume toda la información resiente acerca del rol de los nutrientes en el control de las enfermedades, y destaca en el caso de parásitos obligados, que la nutrición elevada con N provocaría incrementos en la severidad de la infección mientras que en el caso del K, niveles óptimos de éste nutriente disminuye la susceptibilidad de la planta al patógeno no habiendo respuesta al aumento de la resistencia por encima del óptimo de disponibilidad de K. En contraste, el papel del P en la resistencia a las enfermedades es variable y aparentemente inconsistente.

## CONCLUSIONES

Analizando los resultados obtenidos concluimos que:

- El tamaño de lesiones y el número promedio de urediniosoros por lesión como el número de lesiones por cm<sup>2</sup> no son influen-

ciados por la nutrición mineral deficiente en N, P y K marcando una leve diferencia a favor de las plantas con una nutrición óptima en N, P, K pudiendo inferir en una mayor tolerancia a la infección por el hongo.

- La mayor incidencia en % de *P. pachyrhizi* (n° de folíolos infectados/total de folíolos evaluados x 100) se observó en los folíolos de plantas sometidas a concentraciones óptimas de los 3 macronutrientes minerales primarios (testigos),

- Se evidenció un menor porcentaje de área foliar afectada en las plantas con niveles óptimos de N, P y K y un porcentaje superior de tejido foliar afectado (severidad) en las plantas con deficiencias en los macronutrientes siendo más marcada en las plantas expuestas a bajo K.

Cabe destacar la importancia que la agricultura sostenible a tomado estos últimos años para convertirse en una de los tópicos más importantes de la actividad agrícola y teniendo en cuenta que las enfermedades vegetales continúan desempeñando un papel limitador importante en la producción de los cultivos y que el control de las mismas usando los pesticidas clásicos, eleva las preocupaciones sobre seguridad alimentaria, calidad ambiental y la resistencia del pesticida, surge la necesidad de recurrir a técnicas de manejo integrado de los patógenos entre las cuales se propone la fertilización equili-

Cuadro 6: Media del porcentaje de severidad promedio cuantificada en los diferentes tratamientos.

Variable	Tratamiento	Media	
% Severidad/tratamiento	Bajo P	1	A
% Severidad/tratamiento	Bajo N	2,9	A - B
% Severidad/tratamiento	Testigo	3,66	B
% Severidad/tratamiento	Bajo K	8,4	C
Letras distintas indican diferencias significativas ( $p <= 0,05$ ) según test de comparaciones múltiples de Tuckey DMS=2,08340			

brada y que demuestra ser efectiva en incrementar la resistencia de las plantas al ataque de los patógenos.

## AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Agr. Miguel Pilatti, Ing. Agr. Carlos Bouzo, Ing. Agr. Horacio Invinkelried e Ing. Agr. Jorge Ferrer por brindarnos sus conocimientos y aporte de material bibliográfico e insumos para concretar dicho experimento.

A integrantes de las cátedra de Microbiología y Genética que se desempeñan en el Pabellón de Biología Aplicada y Biotecnología de la Facultad de Ciencias Agrarias por brindarnos su ayuda y colaboración en técnicas específicas.

## BIBLIOGRAFÍA

- ASTEGIANO, E.; HERZOG, L.; IVANCOVICH, A.; MAUMARY, R. & VILLAR, J.** 2005. Local and regional soybean rust early detection system. The Riia experience in Santa Fe, Argentina. En: Proceedings of the National Soybean Rust Symposium. 14-16 de Noviembre de 2005. Nashville. TN.
- AVANZATO, M. V.; CARMONA, M. A. & LOPEZ, S. E.** 2006. *Phakopsora pachyrhizi* Syd.: Ensayos de inoculación en plantas de soja (*Glycine max* (L.) Merr). 3° Congreso de Soja del MERCOSUR. Argentina. Resúmenes expandidos. pp.688
- BEGENISIC, F., PLOPER, D. & IVANCOVICH, A.** 2004. Roya de la soja. Características de la enfermedad. Programa Nacional de Roya de la Soja. Buenos Aires. Documento de trabajo N°1. pp. 9
- BONDE, M.; NESTER, S.; AUSTIN, C.; STONE, C. & FREDERICK, R.** 2006. Evaluation of virulence of *Phakopsora pachyrhizi* and *P. Meibomia* isolates. Plant Disease. Vol.90 -6:708-716.
- CARMONA, M. & REIS, E. M.** 2003. La roya de la soja. Atento y a tiempo. Ed. IMACOLOR S.A.20pp.
- CARMONA, M.; GALLY, M. & LOPEZ, S.** 2004. Roya asiática de la soja: Patometría de epidemias en Argentina y caracterización morfológica de *Phakopsora pachyrhizi* (urediniosporas y teliosporas). Recomendaciones para su cuantificación e identificación. XII Congreso de AAPRESID. pp. 409
- CARMONA, M.** 2005. Roya asiática de la soja y enfermedades de fin de ciclo. Relación con la ecofisiología y el control químico. Información técnica de cultivos de verano. 104: 106-115.
- COPATISOUZA, L.** 2001. Reação de genótipos de soja ao alumínio em hidroponia e no solo. Extraído da Dissertação de Mestrado apresentada pelo autor à Universidade de Brasília, Brasília, DF. V. 36, 10: 1255-1260.
- DE SOUZA, J. & FORMENTO, N.** 2005. Roya asiática de la soja. Trampa cazaesporas 2005. Primer Informe. INTA-EEA Paraná.
- DÍAZ-ZORITA, M.** 2006. "Impacto de la fertilidad del suelo sobre las enfermedades en el cultivo de soja". Disponible en: [http://www.agro.uba.ar/comunicacion/notas/mercosoja/diaz\\_zorita.pdf](http://www.agro.uba.ar/comunicacion/notas/mercosoja/diaz_zorita.pdf). Acceso 26 setiembre 2007.
- DORDAS, C.** 2008. Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. Disponible en World Wide en <http://www.agronomy-journal.org> . Acceso 23 abril 2009.
- FEHR, W.R. & CAVINESS, C.E.** 1977. Stages of soybean development. Iowa St. Univ. Special Report 80. pp.11
- FORMENTO, A. N. & DE SOUZA, J.** 2004. Hospedantes de roya asiática de la soja. INTA-EEA Paraná. Serie Extensión N° 29:10-12

- FORMENTO, A. N.; VICENTIN, I. G.; VELAZQUEZ, J. C. & DE SOUZA, J.** 2005. Evaluaciones de severidad de la roya de la soja. Metodología rápida para determinar eficacia de principio activo y calidad de aplicaciones. INTA-EEA Paraná. Disponible en World Wide en [http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion\\_vegetal/soja/roya/articulos/20219\\_050506\\_eval.htm](http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion_vegetal/soja/roya/articulos/20219_050506_eval.htm). Acceso 20 abril 2009.
- FORMENTO, A. N. & DE SOUZA, J.** 2006. Overwinter and survival of asian soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* in volunteer soybean plants in Entre Ríos province, Argentina. *Plant. Dis.* 90:000 (en prensa).
- GALLY, M.** 2007. Manejo integrado de enfermedades de la soja, roya asiática y enfermedades de fin de ciclo. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Disponible en: [http://www.agro.uba.ar/comunicacion/notas/ma\\_gally.htm](http://www.agro.uba.ar/comunicacion/notas/ma_gally.htm). Acceso 8 junio 2008.
- INSTITUTO DE NUTRICIÓN DE PLANTAS** 1995. Relación entre nutrición mineral, pestes y enfermedades de las plantas. Traducción del libro *Mineral nutrition of Higher Plants* de Horst Marschner (Segunda edición). Universidad de Hohenheim, Alemania. pp. 1-14.
- IVANCOVICH, A. & BOTTA, G.** 2002. La roya de la soja en la Argentina. Publicado en: *Revista de Tecnología Agropecuaria-Divulgación Técnica del INTA Pergamino* –Vol. VII N°19.
- IVANCOVICH, A.; BOTTA, G.; VALLONE, S.; FORMENTO, N.; GUERRA, G. & BONASIC, I.** 2003. Roya de la soja en Argentina. EEA-INTA Pergamino. pp. 2
- JAUCH, C.** 1979. *Patología Vegetal*. Ed. El Ateneo. Bs. As.-Argentina. 280 pp.
- MARCHETTI, M.; MELCHING, J. & BROMFIELD, K.** 1976. The effects of temperatures and dew period on germination and infection by uredospores of *Phakopsora pachyrhizi*. *Phytopathology* 66: 461-463.
- MELCHING, J.; DOWLER, W.; KOOGLE, D. & ROYER, M.** 1988. Effect of plant and leaf age on susceptibility of soybean to soybean rust. *Plant Pathology* 10: 30-35.
- PIOLI, R.; WRIGHT, R.; ECHEVERRÍA, F. & MORANDI, E.** 2004. Roya de la soja en la provincia de Santa Fe (*Phakopsora pachyrhizi*): algunas características morfológicas y cómo medir la enfermedad. *Fac. de Cs. Agr. (Rosario)* 1-3. online] Disponible en la en <http://www.fcagr.unr.edu.ar/extension/coyunturas/Roya%20de%20la%20soja.htm> Acceso 27 septiembre 2004.
- PIOLI, R. N.; CAMBURSANO, M. A. & MORANDI, E. N.** 2005. Morphologic and Pathometric Characterization of the Asian Soybean Rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Santa Fé, Argentina. <http://www.apsnet.org/pd/searchntes/2005/pd-89-0684b-asp> . Acceso 2 diciembre 2005.
- PLOPER, D.** 2004. Principales Conclusiones del Panamerican Soybean Rust Workshop. Segunda sesión: “Epidemiología y bases para el manejo de la roya de la soja”. E. E. Agroindustrial Obispo Colombes. *Publicación Especial.* 24:7-10
- PLOPER, L.; ESCOBAR, D.; IVANCOVICH, A.; DIAZ, C. G.; SILLON, M., FORMENTO, N.; DE SOUZA, J.; CABRERA DE ALVAREZ, G.; GONZALEZ, V.; GALVEZ, M. R.; FRIGIDI, V.; RIDAO, A.; SCANDIANI, M.; VICENTIN, I.; CASTRO, A.; ZAPATA, R.; RIVADENEIRA, M. & SAIEG, E.** 2006. Propuesta de protocolo para muestreo y evaluación de la Roya asiática de la soja en Argentina. 3° Congreso de soja del MERCOSUR, pp. 688
- SATORRE, E.** 2003. Bases ecofisiológicas de la nutrición en los cultivos de grano (pp. 481-497). En: DRECCER, M. F.; RUIZ, R.; MADDONNI, G. (eds.). *Producción de granos: Bases funcionales para su manejo*. Ed. Facultad de Agronomía, UBA, Argentina.

- REIS MELO, E. & CARMONA, M.** 2004. Roya de la soja: Diagnóstico, epidemiología y manejo. [http://www.produccion.com.ar/2004/04ene\\_12.htm](http://www.produccion.com.ar/2004/04ene_12.htm). Acceso 21 noviembre 2007.
- RODRIGUEZ, A.; HOYOS, M. & CHANG M.** 2001. Soluciones nutritivas en hidroponia. Formulación y preparación. Centro de Investigación de Hidroponia y Nutrición Mineral, Departamento de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina. pp. 99
- SILVA ACUÑA, R.; ROSALES MONDRAGÓN, M. & TENÍAS, J.** 2000. Aspectos nutricionales y fisiológicos de la roya del Cafeto: I. Efectos de los nutrimentos. Rev. Téc. FONAIAP DIVULGA. 67 : 28-30
- STEWART, S.; GUILLIN, E. A. & DIAZ, L.** 2005. First Report of Soybean Rust Caused by *Phakopsora pachyrhizi* in Uruguay. Disponible en la World Wide Web <http://www.apsnet.org/pd/searchnotes/2005/pd-89-0909c.asp>. Acceso 12 agosto 2007.
- VELASCO, V.** 1999. Papel de la nutrición mineral en la tolerancia a las enfermedades de las plantas. TERRA Latinoamericana. Universidad Autónoma Chapingo (Chapingo, México).17: 193-200.
- UGALDE, M. G.; BOLIGON, E. & BALARDIN, R.** 2004. Colecta e inoculação de uredosporos de *Phakopsora pachyrhizi* em plantas de soja. XXXVII Congresso Brasileiro de Fitopatologia. Gramado-RS.Revista Fitopatologia Brasileira. Passo Fundo-RS. Vol. 29. Pág. 298